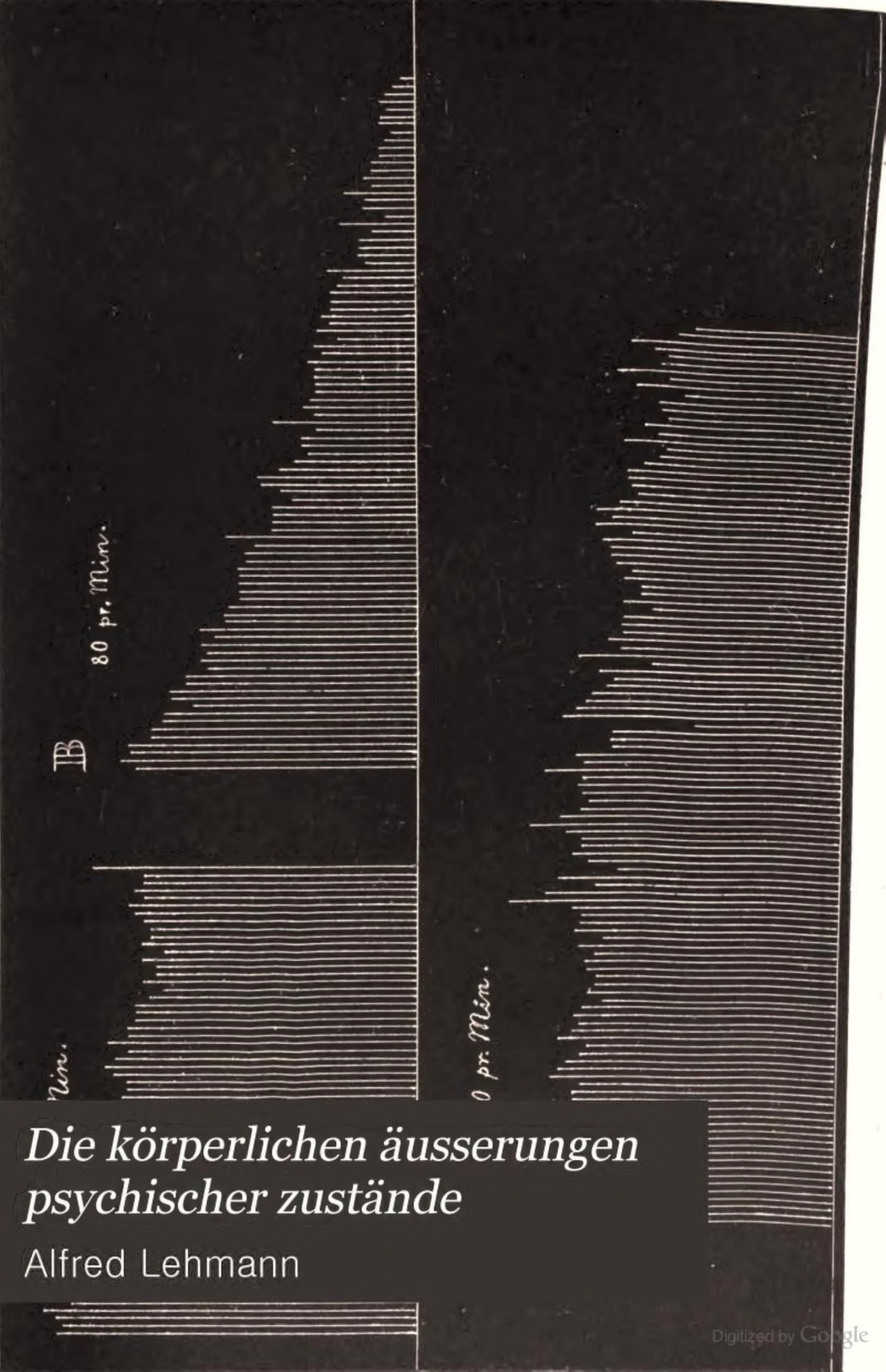
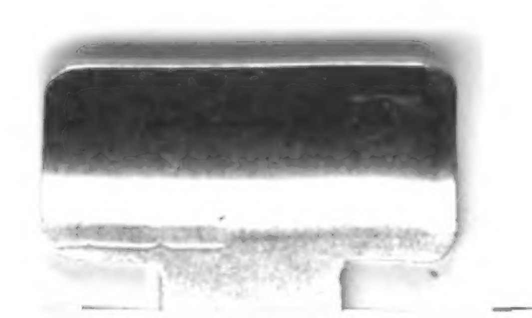
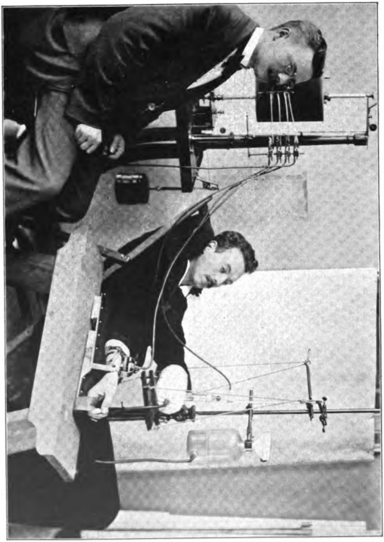

80 pr. Min.
B
Min.
0 pr. Min.
Die körperlichen äusserungen psychischer zustände
Alfred Lehmann
Digitized by Google

Text 1/2
22,—
adj 45¢

Library
of the
University of Wisconsin



Digitized by Google



Digitized by Google

K[illegible]RLICHEN [illegible]
[illegible]CHISCHER ZU[illegible]

DR. ALFR. LE[illegible]

[illegible]

[illegible] TE[illegible]

PLETHYSMOGRAPHISCHE [illegible]

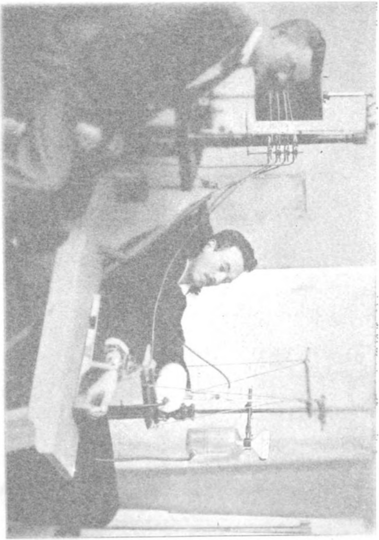
[illegible]

[illegible]

F. BENDIXEN.

LEIPZIG.
O. R. REISLAND
[illegible]

Digitized by Google



Digitized by Google

DIE

KÖRPERLICHEN ÄUSSERUNGEN PSYCHISCHER ZUSTÄNDE.

VON

DR. ALFR. LEHMANN,

DIREKTOR DES PSYCHOPHYSISCHEN LABORATORIUMS AN DER UNIVERSITÄT KOPENHAGEN.

ERSTER TEIL.

PLETHYSMOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN.

TEXT.

NEBST EINEM ATLAS VON 68 IN ZINK GEÄTZTEN TAFELN.

ÜBERSETZT

VON

F. BENDIXEN.

LEIPZIG,

O. R. REISLAND.

1899.

Digitized by Google

98774
AUG 10 1906
BJ
.L52
1-2

VORREDE.

Im Februar 1895 richtete der Herr Prof. Dr. K. Pontoppidan, der damalige Oberarzt der Abteilung für Geisteskranke im Kopenhagener Kommunehospital, die Frage an mich, wiefern man mit Hilfe des Sphygmographen oder des Plethysmographen im stande sei, zu entscheiden, ob in einem gegebenen Falle wirkliche Analgesie vorliege oder nur Simulation der Schmerzlosigkeit.

A priori darf es wohl fast als gegeben betrachtet werden, dafs eine Person, welche Analgesie simuliert, diejenigen Veränderungen des Blutkreislaufs, die den Schmerz normal begleiten, nicht zu unterdrücken vermag. Die Bedingung, um Simulation mit Sicherheit konstatieren zu können, wird also die sein, dafs die genannten körperlichen Veränderungen in allen Fällen wirklicher Analgesie fehlen, ohne Rücksicht darauf, wie diese übrigens entstanden sei: durch Läsion peripherer oder zentraler Nervenelemente, durch Intoxikation oder infolge psychischer Abnormitäten (Hysterie, Suggestion während Hypnose). Nun ist es indes keineswegs wahrscheinlich, dafs die körperlichen Symptome des Schmerzes bei allen diesen verschiedenen Formen der Analgesie wegfallen werden, und da in der mir bekannten psychophysiologischen und psychiatrischen Litteratur keine systematischen Untersuchungen über diese Verhältnisse vorliegen, war ich folglich nicht im stande, eine positive Beantwortung der aufgestellten Frage zu geben. Diese besitzt aber offenbar ein nicht geringes theoretisches Interesse, von der praktischen Bedeutung ganz abgesehen, durch die sie veranlafst wurde. Es handelt sich

Digitized by Google

ja nämlich darum, inwiefern Veränderungen der vegetativen Funktionen, welche bestimmte Bewuſstseinszustände normal begleiten, sich auch reflektorisch durch einen äuſseren Reiz auslösen lassen, ohne daſs der Bewuſstseinszustand mitwirkte. Mit andern Worten: Ist der psychische Zustand, an welchen gewisse körperliche Erscheinungen normal verknüpft sind, etwas Wesentliches, so daſs die körperlichen Veränderungen n u r dann zu stande kommen können, wenn der seelische Zustand gegeben ist; oder ist letzterer etwas ganz Unwesentliches, ein Plus, das je den Umständen nach vorhanden oder abwesend sein kann? Die theoretische Tragweite dieses Problems braucht wohl nicht näher nachgewiesen zu werden, und es wird deshalb verständlich sein, daſs ich den Vorsatz faſste, möglichst bald die Lösung des Problems zu suchen.

Nachdem die Instrumente, die ich bei meinen früheren Versuchen über die körperlichen Äuſserungen der Affekte benutzt hatte, in mehreren Richtungen verändert und verbessert worden waren, begann die Arbeit im Frühjahr mit dem Studium der durch Stickstoffoxydul hervorgerufenen Analgesie. Darauf ging ich zur Untersuchung der suggerierten Analgesie über, und zwar unter sehr günstigen Verhältnissen, indem es sich erwies, daſs zwei der im Laboratorium beschäftigten Studierenden äuſserst leicht hypnotisabel waren, ohne jedoch irgend ein hysterisches Symptom darzubieten. An diesen beiden Personen wurde zugleich die Wirkung verschiedener suggerierter Gefühle und Affekte festgestellt, und der Kontrolle wegen wurden gleichzeitig die körperlichen Äuſserungen dieser Bewuſstseinszustände teils an denselben Personen in normalem Zustande, teils an mehreren anderen Personen, die noch nie hypnotisiert worden waren, untersucht. Während dieser Arbeit entdeckte man bei ein paar einzelnen Individuen anormale Äuſserungen, was dazu bewog, die Untersuchungen nicht nur auf Gefühle und Affekte, sondern auch auf andre psychische Erscheinungen, die Konzentration der Aufmerksamkeit, Denkarbeit u. s. w. auszudehnen. Erst gegen Ende 1896 waren diese Versuche in so groſsem Umfange variiert worden, daſs sich bestimmte Gesetzmäſsigkeiten nachweisen und die Ur-

Digitized by Google

sachen der anormalen Äufserungen feststellen liefsen. Damals war aber ein ganz überwältigendes Material beschafft — gegen 2000 einzelne Versuche, an zehn verschiedenen, teils weiblichen, teils männlichen Versuchspersonen angestellt —, welches zweifelsohne die Beantwortung nicht allein der von mir direkt verfolgten Fragen, sondern auch zahlreicher anderer enthielt. Es schien mir daher wünschenswert, einen wesentlichen Teil meines Versuchsmaterials in so genauer Reproduktion veröffentlicht zu sehen, dafs derselbe sich von Forschern benutzen liefse, die weder Gelegenheit noch Übung haben, solche Versuche anzustellen. Diese erfordern nämlich, gewifs in noch höherem Grade als irgend ein andrer Zweig der psychologischen Experimente, Routine nicht allein des Experimentators, sondern auch der Versuchspersonen, weshalb die Untersuchung einer einzelnen kleinen Frage oft ganz unverhältnismäfsig lange Zeit beanspruchen wird. Eine hinlänglich umfassende Materialsammlung wird in solchen Fällen viel Arbeit ersparen können, und es ist meine Hoffnung, dafs vorliegendes Werk in dieser Richtung einige Bedeutung erhalten wird.

Die zur Realisation dieses Plans erforderlichen Geldmittel wurden mir vom Carlsbergfonds bewilligt. Ich statte hiermit der verehrten Direktion meinen ergebensten Dank für das Interesse ab, das auf diese Weise meiner Arbeit zu teil wurde, deren Veröffentlichung in vorliegender Form erst hierdurch ermöglicht ward.

Wenn ich gemeint habe, von vornherein den Anlafs und den historischen Gang meiner Untersuchungen darstellen zu müssen, ist der Grund zunächst der, dafs die Datierung der einzelnen, später zu besprechenden Versuche sonst ganz sinnlos erscheinen und andeuten könnte, es sei völlig ins Blaue hinein ohne irgend einen bestimmten Plan experimentiert worden. Dies ist durchaus nicht der Fall; im Gegenteil zog die eine Gruppe von Versuchen auf natürliche und notwendige Weise die andre nach sich. In der folgenden Darstellung wird die chronologische Ordnung jedoch nicht befolgt werden, da sie den Überblick über die Erscheinungen und deren wechselseitiges Verhalten in hohem Grade erschweren würde. Der Stoff wird dagegen so geordnet werden,

Digitized by Google

wie die ganze experimentelle Arbeit hätte angelegt werden müssen, wenn es ursprünglich beabsichtigt wäre, sie so umfassend zu machen, wie sie jetzt vorliegt. In diesem Falle würde man natürlich damit angefangen haben, den Menschen in normaler Ruhe und in normalem Gleichgewicht des Gemüts zu studieren, um darauf allmählich immer kompliziertere Störungen dieses Zustands einzuführen. Hierdurch wäre der Überblick bewahrt und das Verständnis der einzelnen Erscheinungen in hohem Maſse erleichtert worden.

Wenn ich nun auch anzunehmen wage, daſs meine Arbeit dazu beitragen wird, Licht über verschiedene Punkte zu verbreiten, die trotz zahlreicher Untersuchungen dieser Art in den jüngsten Jahren noch unaufgeklärt dastehen, zunächst weil es sich erweist, daſs die Resultate der verschiedenen Forscher in Widerspruch miteinander sind, so betrachte ich sie doch keineswegs als etwas auf diesem Gebiete Abschlieſsendes. Dies ist dadurch deutlich ausgedrückt, daſs vorliegendes Werk als erster Teil bezeichnet ist. Ich glaube nämlich, wie es am Schlusse des Buches näher nachgewiesen werden wird, daſs die bisher ausgeführten sphygmographischen, plethysmographischen und sphygmomanometrischen Untersuchungen durchaus nicht genügen, um zu erhellen, was eigentlich ins klare gebracht werden soll. Es ist deswegen ein ganz andrer Weg einzuschlagen, der mehr direkt anzeigt, was eigentlich aus den verschiedenen, die einzelnen Gemütszustände begleitenden organischen Veränderungen resultiert. Versuche in dieser Richtung haben schon angefangen, und wenn es mir nur gelingt, sie im erforderlichen Umfange durchzuführen, so hoffe ich, in den folgenden Bänden die Resultate dieser Schritte auf neuen Bahnen vorlegen zu können.

Schlieſslich bringe ich meinen zahlreichen Mitarbeitern meinen besten Dank: ihre Ausdauer und ihr lebhaftes Interesse für die Arbeit waren wesentliche Bedingungen, um diese überhaupt durchführen zu können.

Kopenhagen, im Januar 1899.

Digitized by Google

HINWEISUNG

auf diejenige Seite des Textes, wo die Messung der Kurven zu suchen ist, insofern sie sich nicht in der Beschreibung der Kurven findet.

Tab.		Tab.	
II, C	70	XXI, C und D	98
III, D	70	XXII, B	98
VII, D	114	—, C	88
VIII, A	114	—, D und E	88
—, B und C	114	XXIII, B	98
X, C	69	—, C	88
—, D	69	XXIV, A und B	89
XI, A	69	—, C und D	89
XXI, B	125	XXIX, C	100

Digitized by Google

INHALT.

	Seite
Vorrede	III—VI
Hinweisung inbetreff der Messung der Kurven	VII
Einleitung	1—5
Die Instrumente und die Anordnung der Versuche	5—32
Der Kymograph 5. — Der Pneumograph 7. — Der Sphygmograph 9. — Der Plethysmograph 13. — Anordnung der Versuche 28.	
Die Bearbeitung und Reproduktion des Materials	32—39
Die Bearbeitung des Materials 32. — Die Reproduktion des Materials 35. — Die Ordnung der Kurven 38.	
Der Normalzustand	40—61
Die Respirationsoszillationen 44. — Das jähe Sinken der Volumkurve 52. — Die sanften Undulationen der Volumkurve 55.	
Die Aufmerksamkeit	62—103
Willkürliche Aufmerksamkeit, Denken 62. — Unwillkürliche Aufmerksamkeit, Erschrecken 70. — Spannung, Erwartung 76. — Der Wechsel und der wechselseitige Einfluſs der Aufmerksamkeitszustände 89. — Die Einstellung der Aufmerksamkeit 102.	
Die Gefühle	104—158
Unlustzustände 104. — Unlust während Spannung 124. — Lustzustände 128. — Lustgefühle während Spannung 136. — Die Konzentration der Aufmerksamkeit auf den Gefühlston 140. — Der wechselseitige Einfluſs der Gefühle 145.	
Analgesie während der Stickstoffoxydul-Narkose	159—164
Die Hypnose	164—181
Reproduzierte Affekte	181—187
Praktische und theoretische Konsequenzen der Versuche	187—201
Die physiologischen Ursachen der körperlichen Äuſserungen	201—216
Die Volumveränderungen 204. — Die Pulshöhen 207. — Die Pulsformen 212.	
Schluſs	216—218

Digitized by Google

EINLEITUNG.

Auf zwei verschiedenen Wegen kommen die psychischen Zustände gewöhnlich zum Ausdruck: teils durch Bewegungen willkürlicher Muskeln, teils durch Veränderungen der vegetativen Funktionen. Die Bewegungen der willkürlichen Muskeln können wieder entweder bewufst, willkürlich entstehen (die eigentlichen Willenshandlungen) oder auch unwillkürlich, indem jeder Gemütszustand, der oft von einer bestimmten willkürlichen Bewegung begleitet worden ist, schliefslich nicht eintreten kann, ohne wenigstens eine minimale Bewegung der nämlichen Art auszulösen. So sind unsere Vorstellungen von Zahlen, Buchstaben, Figuren u. s. w. stets von Schreibbewegungen begleitet, die sich durch einfache Apparate sichtbar machen lassen, und das Denken ist, bei vielen Menschen allenfalls, kaum ohne Sprechbewegungen möglich, die sich mittels Selbstbeobachtung konstatieren lassen und oft hörbar werden können. Endlich erweisen auch die mimischen und pantomimischen, die Affekte begleitenden Bewegungen sich ebenfalls als unwillkürlich reproduzierte Bewegungen. Sie sind durchweg zweckmäfsig, dienen zur Abwehr oder zum Festhalten dessen, wodurch die Gemütsbewegung hervorgerufen wird, und sind deshalb als ursprüngliche Willensäufserungen aufzufassen, die im Leben der Gattung oder des Individuums durch fortwährende Wiederholung sich so fest mit einem bestimmten Gemütszustand associiert haben, dafs sie jetzt unwillkürlich entstehen, es sei denn, dafs sie willkürlich gehemmt werden.

Digitized by Google

Während im grofsen und ganzen der Ursprung und die Bedeutung der Äufserungen unserer Gemütszustände durch Bewegungen der willkürlichen Muskeln also verständlich sind, läfst dies sich nicht von den Veränderungen der vegetativen Funktionen behaupten. Erstens kennen wir diese noch nicht einmal in den gröbsten Zügen, indem die Beobachtungen der einzelnen Forscher auf diesem Gebiete keineswegs miteinander übereinstimmen. Und ferner ist sogar die Bedeutung derjenigen Veränderungen, über welche Einigkeit herrscht, noch durchaus rätselhaft. Dafs ein Individuum bei drohender Gefahr unwillkürlich die Arme ausstreckt, ist verständlich, weil dies im allgemeinen eine unter solchen Verhältnissen zweckmäfsige Bewegung ist, die zur Abwehr der Gefahr dienen kann. Ganz unverständlich ist aber, weshalb das Herz geschwinder zu schlagen beginnt und die Gefäfse an der Oberfläche des Körpers sich zusammenziehen. Dies scheint, soweit man zu sehen vermag, nicht sonderlich zweckmäfsig zu sein, mufs aber doch für den Organismus sicherlich Bedeutung haben. Ein Versuch, eine derartige isolierte Erscheinung zu erklären, würde indes schwerlich zu etwas mehr als wilden Hypothesen führen; die organischen Veränderungen, welche alle einzelnen Gemütszustände kennzeichnen, müssen im Zusammenhang und in ihrer inneren Verbindung erblickt werden, um eine Erklärung zu ermöglichen. Vor allen Dingen ist dann aber erforderlich, dafs wir alle diese Veränderungen kennen, so dafs diejenigen Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten, welche die einzelnen seelischen Zustände in physiologischer Beziehung darbieten, sich genau nachweisen lassen. Ein Beitrag zu einer solchen Auseinandersetzung soll im vorliegenden Werke gegeben werden.

Diejenigen körperlichen Äufserungen, welche der Gegenstand dieser Untersuchung werden, sind ausschliefslich Veränderungen der beiden vegetativen Funktionen: der Atmung und des Blutkreislaufes. Auf meine früheren Studien in dieser Richtung, die wohl die ersten speziell psychologischen Untersuchungen dieser Art waren, folgten zahlreiche gröfsere und kleinere Arbeiten, so in Deutschland von Mentz und Kiesow,

Digitized by Google

in Frankreich von Binet, Courtier, Vaschide und G. Dumas, in Italien von Patrizi und in Amerika von Shields, Angell und Mc. Lennan. Ein tieferes Eindringen in die Methoden und Resultate dieser Forscher würde hier jedoch kaum sonderlich lohnend sein. Die im folgenden zu besprechenden Versuche wurden fast gleichzeitig mit den Arbeiten sämtlicher genannten Forscher unternommen, weshalb ein kritisches Studium der betreffenden Werke mir keinen wesentlichen Nutzen bringen konnte. Hierzu kommt überdies, dafs ich nach meinen Erfahrungen gegen die Weise, wie die meisten dieser Forscher ihre Versuche durchgeführt haben, prinzipielle Einwürfe erheben mufs. Dies wird sich indes nicht verstehen lassen, bevor ich meine eigenen Resultate dargelegt habe; ich ziehe es deshalb vor, die erwähnten Arbeiten je auf sich darbietenden Anlafs nach und nach kritisch durchzugehen und die Ursachen ihrer scheinbaren Widersprüche nachzuweisen.

Für die Anordnung jeder experimentellen Arbeit ist das erstrebte Ziel von entscheidender Bedeutung. Es handelt sich vor allen Dingen also darum, dafs man darüber im reinen ist, was man eigentlich zu erreichen sucht. Feine quantitative Messungen bestimmter Veränderungen erfordern andere, genauere Instrumente als der blofse Nachweis qualitativer Verschiedenheiten. Sie nehmen aufserdem längere Zeit in Anspruch, weil sie — soll die Genauigkeit denn keine ganz illusorische werden — feinere Einstellung und sorgfältigere Bedienung der Apparate, wie auch viele Kontrolloperationen erheischen, die bei qualitativen Bestimmungen ganz wegfallen. Es kommt mir nun ziemlich absurd vor, auf einem Gebiete zu feinen Messungen zu schreiten, wo die zu messenden Erscheinungen fast kaum in ihren Hauptzügen bekannt sind. In mehreren Beziehungen wird es von Interesse sein, eine Entscheidung darüber zu finden, ob die verschiedenen Gruppen psychischer Zustände sich in bestimmten, charakteristischen organischen Veränderungen Ausdruck geben, so dafs diese sich, wo es erwünscht sein möchte, zur Diagnose des Gemütszustandes benutzen liefsen. Ob dieses möglich ist, die Frage steht noch offen; ihre Beantwortung er-

Digitized by Google

fordert indes keine quantitativen Bestimmungen. Zeigen sich keine qualitativen Unterschiede der körperlichen Äufserungen der verschiedenen Gemütszustände, so ist die Sache abgemacht. Denn da die seelischen Zustände und die begleitenden organischen Veränderungen eine lange Reihe von Stärkegraden durchlaufen können, so werden rein quantitative Unterschiede auf dem physiologischen Gebiete sich niemals als charakteristische Kennzeichen der psychischen Erscheinungen verwerten lassen. Deswegen habe ich von vornherein von allem, was feinere Messungen genannt werden könnte, Abstand genommen, da solche die Arbeit nur erschweren würden, ohne entsprechende Ausbeute zu geben. Vorläufig genügt es uns völlig, zu erfahren, ob unter gegebenen Umständen der Herzschlag geschwinder oder langsamer, die Pulshöhe gröfser oder kleiner wird, ob das Armvolumen zunimmt oder abnimmt; wieviel Kubikmillimeter das Volumen indes variiert, das ist unendlich gleichgültig, solange man nicht einmal weifs, ob die Abnahme oder Zunahme eine konstante Erscheinung ist. Shields' Arbeit[1] gibt in dieser Beziehung ein abschreckendes Beispiel, indem er durch eine Reihe feiner Messungen der Volumänderungen hindurch zuletzt zu dem ganz negativen Resultate gelangt, es lasse sich von Gesetzmäfsigkeit keine Spur nachweisen. Hätte Herr Shields weniger Rücksicht auf Bruchteile von Kubikcentimetern genommen und seine Aufmerksamkeit Punkten von gröfserer Bedeutung zugewandt, würden seine Bestrebungen gewifs besseren Erfolg gehabt haben.

Was ich ins Auge fafste, sind also nur qualitative Bestimmungen der Veränderungen der Atmung und des Blutkreislaufes. Die Registrierung der Atmung verursacht keine Schwierigkeiten; rücksichtlich des Blutkreislaufes sind diese bedeutend gröfser. Vieles von dem, worüber man Aufschlüsse wünschen möchte, entzieht sich der Beobachtung, und aus praktischen Gründen mufs man sich auf eine begrenzte Anzahl gleichzeitiger Registrierungen beschränken. Deshalb ist der Plethysmo-

---

[1] The effect of odours, irritant vapours, and mental work upon the blood flow. Baltimore 1896.

graph ein besonders zweckmäſsiger Apparat, weil er in einer einzigen Kurve die Resultante aller derjenigen Kräfte (Umfang der Herzbewegung, Zustand der Gefäſse und venöser Blutabfluſs) gibt, welche auf den Kreislauf Einfluſs haben. Anderseits ist es dann freilich schwer zu entscheiden, inwiefern eine vorliegende Veränderung in einem Plethysmogramm von dem einen oder dem anderen oder von mehreren dieser Faktoren im Verein herrührt. Diese Schwierigkeit läſst sich jedoch zum Teil mittels gleichzeitig aufgenommener Sphygmogramme überwinden, aus welchen man — in gewissen Fällen wenigstens — durch Zusammenstellung mit den Plethysmogrammen Schlüsse über die Verhältnisse des Herzens und der Gefäſse ziehen kann. Hierauf werden wir in dem Abschnitt über die Deutung der Kurven näher eingehen. Da es indes mehr in meiner Aufgabe lag, darüber zur Entscheidung zu gelangen, ob unter den physiologischen Äuſserungen der einzelnen Gemütszustände bestimmte, leicht erkennbare Verschiedenheiten stattfinden, als ins reine zu bringen, welchen Anteil an diesen körperlichen Äuſserungen die einzelnen Organe haben, so benutzte ich vorzüglich den Plethysmographen und nahm nur gelegentlich den Sphygmographen zur Hilfe, um mir einen — wenngleich ziemlich zweifelhaften — Stützpunkt für die Deutung der Kurven zu verschaffen. Im folgenden Abschnitte werden nun die Konstruktion der benutzten Apparate und die fernere Bearbeitung des erworbenen Versuchsmaterials auseinandergesetzt werden; darauf gehen wir zur Darstellung der eigentlichen Untersuchungen über.

DIE INSTRUMENTE UND DIE ANORDNUNG DER VERSUCHE.

Der Kymograph. Der Kymograph, auf welchem die verschiedenen Erscheinungen automatisch registriert wurden, war der nämliche, den ich bei meinen früheren Versuchen benutzte. Er ist in Kagenaars mechani-

Digitized by Google

schem Institut in Utrecht hergestellt. Ich werde mich hier nicht näher auf die Konstruktion des Apparats einlassen[1], da eine ausführliche, von guten Abbildungen begleitete Beschreibung bereits von Boekelmann[2] gegeben ist. Dieser gibt ebenfalls eine Tabelle über die verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten, die sich mit Hilfe der verschiedenen Mittel, welche die Einrichtung des Apparats zur Verfügung stellt, erreichen lassen; zugleich wird angezeigt, welche dieser Geschwindigkeiten als konstant zu betrachten sind. Dieser Teil der Schrift ist jedoch minder befriedigend, da der Verfasser nur die mittleren Geschwindigkeiten angibt und sich darauf beschränkt, von einigen derselben zu erwähnen, der Gang des Apparats sei hier »merkbar«, »in hohem Grade« oder »völlig« unregelmäfsig. Besser wäre es doch gewesen, wenn für jede einzelne Geschwindigkeit der Fehler angegeben wäre; ein solcher findet sich nämlich sogar bei den regelmäfsigsten Bewegungen des Apparats. Bei derjenigen Kombination von Windflügeln und Belastung, deren ich mich fortwährend bediente, und die obendrein eine der besten des Apparats ist, war die mittlere Geschwindigkeit 6,03 mm pro Sekunde, mit einem Fehler von ± 0,06 mm. Um die Bedeutung dieses Fehlers zu verstehen, müssen wir betrachten, wie er bestimmt wurde.

Zur Registrierung der Zeit diente eine genau regulierte Pendeluhr mit ziemlich schwerem Pendel. In der Seitenwand des Uhrgehäuses war eine Pelotte mit einer äufserst feinen Kautschukmembran angebracht, auf deren Mitte eine kleine Scheibe steifen Kartons befestigt war. Die Pelotte liefs sich mittels einer Schraube der Pendellinse so nahe bringen, dafs der Rand der letzteren die Kartonscheibe eben berührte, und dieser Stofs wurde auf gewöhnliche Weise — durch Lufttransmission — auf einen Schreibhebel am Kymographen übertragen. Für jede Doppelschwingung des

---

[1] In den »Hauptgesetzen des menschlichen Gefühlslebens«, S. 78 ist aus der dänischen Ausgabe der Druckfehler eingelaufen, dafs die Walze 16 cm hoch sei; es soll heifsen 26 cm.

[2] Het Pantokymographion en eenige daarmee verrichte physiologische proeven. Delft 1894.

Pendels wird auf den rotierenden Cylinder also ein Zeichen abgesetzt. Wird der Gang der Uhr rücksichtlich der Arbeit, die das Pendel ausführen mufs, reguliert, so können die auf die Walze abgesetzten Zeitmerkzeichen ohne Schwierigkeit genau werden. Durch Ausmessung ihrer Abstände voneinander läfst sich also der Gang des Kymographen kontrollieren. Hierzu benutzte ich einen in Glas geätzten Millimetermafsstab von Zeifs in Jena; mit unbewaffnetem Auge war es indes nicht möglich, mittels desselben eine Abweichung der Abstände zwischen zwei Zeitmerkzeichen zu konstatieren. Der Fehler mufste also weniger als 0,1 mm betragen. Mafs man dagegen die einem längeren Zeitraum entsprechende Strecke, so wurde der Fehler merkbar, und die Abweichungen konnten während eines Viertels der Rotationszeit des Cylinders bis ungefähr 4 mm steigen. Als Mittelzahl einer grofsen Anzahl Messungen wurde auf diese Weise die Geschwindigkeit auf 6,03 mm pro Sekunde bestimmt, dieser Gröfse kann jedoch, in den ungünstigsten der beobachteten Fälle, ein Fehler von ± 0,06 mm anhaften.

Dieses Verhältnis ist nicht ohne Bedeutung. Die leichteste Weise, wie die Frequenz des Herzschlages sich angeben läfst, wird nämlich die sein, dafs die Pulslänge in Millimetern ausgedrückt wird. Da nun die Dauer eines Pulsschlages nur in seltenen Fällen eine Sekunde übersteigt, so wird der den gemessenen Pulslängen anhaftende Fehler gewöhnlich auch geringer sein als die oben angegebenen Grenzen für die Variation der Rotationsgeschwindigkeit des Cylinders. Oder mit anderen Worten, die gemessenen Pulslängen werden bis auf zehntel Millimeter richtig sein, ganz einerlei, ob man jeden Puls für sich mifst, oder ob man nur die Durchschnittslänge einer ganzen Reihe bestimmt, was in den meisten Fällen genügen wird.

Der Pneumograph. Zur Registrierung der Atmung benutzte ich einen Kissenpneumographen, dessen Einrichtung Fig. 1 zeigt. Derselbe besteht aus einer metallenen Schale, 12 cm im Durchmesser, an welche eine kurze, in die Schale mündende metallene Röhre A festgelötet ist. Durch die Schale ist ferner eine andere kurze metallene Röhre B geführt, die da-

durch an ihrem Platze festgehalten wird, dafs eine Brust C im Innern der Schale gegen diese drückt, was man mittels einer Mutterschraube und einer Kontramutterschraube bewirkt, die am äufseren Ende der Röhre fest an die Schale geschroben werden. Die äufsere Öffnung der letzteren ist durch zwei Gummimembranen verschlossen, D und E, deren Inneres luftdicht an die Röhre B befestigt ist, so dafs diese die äufsere Luft mit dem Raume zwischen den Membranen in Verbindung setzt. Endlich läfst sich die Röhre B mittels eines kleinen Glasstöpsels, F, verschliefsen, der in ein an die Röhre befestigtes Stückchen Gummischlauch pafst. Derjenige Gummischlauch, durch welchen die Atmungsbewegungen dem Schreibhebel vermittelt werden, wird der Röhre A angesetzt. Bevor der Apparat appliziert wird, öffnet man B und saugt durch A. Es strömt nun Luft zwischen die Membranen hinein, und schliefst man darauf schnell B mittels des Stöpsels, während man A öffnet, so wird die zwischen den Membranen befindliche Luft dieselben linsenförmig ausspannen, wie die punktierten Linien der Figur zeigen. Jeder Druck auf dieses Kissen pflanzt sich leicht auf die Luft in der Schale und von hier weiter auf den Schreibhebel fort. Ein Verlust der zwischen den Membranen eingeschlossenen Luft, der eine Verminderung des Ausschlags des Schreibhebels zur Folge haben würde, findet nicht leicht statt, wenn nur alle Verbindungen des Metalls mit den Gummimembranen mittels eines Kautschukkittes hinlänglich gedichtet werden.

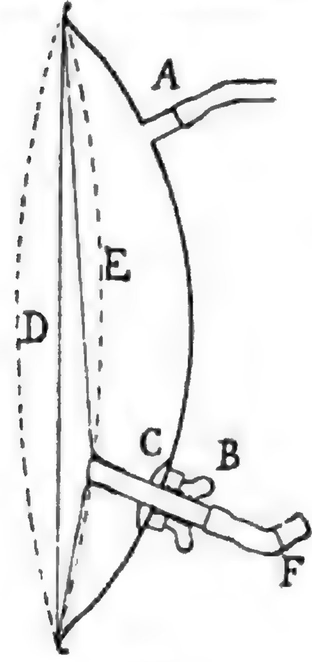


Fig. 1.

Weiblichen Versuchspersonen wurde der Pneumograph über die Brust angelegt, wo er durch zwei Bändel festgehalten wurde, deren eines hinten um den Hals, das andere unter die Arme hindurch um den Körper ging. Diese Befestigung sichert völlig vor Verschiebungen. Bei männlichen Versuchspersonen fällt es leichter, das Bauchatmen zu registrieren; der Pneumo-

Digitized by Google

graph wird dann einfach innerhalb des Hosenbundes unmittelbar unterhalb der Rippen angebracht. Da er leicht eine gröfsere Fläche des weichen Unterleibs berühren wird, ist es aufserdem ganz unnötig, den Membranen auf erwähnte Weise die Linsenform zu geben; eine mit einer einzelnen Membran überspannte Metallschale wird sich in der That als völlig genügend erweisen.

Der Sphygmograph. Alle mir bekannten Apparate dieser Art haben den Fehler, dafs die hervorgebrachte Kurve zum Teil durch die Volumänderungen des Arms verunstaltet wird. Wenn nämlich der Knopf der Pelotte mittels einer Feder mit bestimmter Spannung gegen die Arterie angedrückt wird, so wird eine Verminderung des Armvolumens zur Folge haben, dafs die Feder sich ein wenig gerade zieht, weil der Gegendruck der Arterie sich vermindert. Deswegen sinkt erstens das Niveau der Kurve, und da die Feder in ihrem schlafferen Zustande mit geringerem Druck als vorher auf die Arterie wirkt, mufs ferner auch die Höhe der Pulse sich vermindern — vorausgesetzt natürlich, dafs die ursprüngliche Spannung der Feder ebenso grofs oder kleiner war als der Druck, der das Maximum der Pulshöhe gibt. Umgekehrt, wenn das Armvolumen zunimmt: dann steigt das Niveau der Kurve, und wegen des stärkeren Federdrucks wächst die Pulshöhe. Ganz ebenso wird übrigens das Verhältnis, wenn der Druck nicht von einer Feder, sondern von der elastischen Membran der Pelotte herrührt, welche, wenn sie nur hinlänglich Steifheit besitzt, sehr wohl die Feder ersetzen kann. Auch bei den direkten Sphygmographen, wo der Schreibhebel mit dem auf der Arterie ruhenden Knopf in unmittelbarer Verbindung steht, wiederholt sich das nämliche; wegen der Volumänderungen des Arms verändert sich die Spannung der Feder und somit die Pulshöhe. Nur bei dem direkten Sphygmographen mit Gewichtbelastung kann man sicher gehen, dafs der auf die Arterie geübte Druck nicht variiert; das Niveau der Kurve verändert sich allerdings mit dem Armvolumen, der Druck des Knopfes gegen die Arterie bleibt aber konstant, und Veränderungen der Pulshöhe müssen daher von Varia-

tionen des arteriellen Blutdrucks und nicht von Fehlern des Instrumentes allein herrühren. Nun leiden indes alle Apparate dieser Konstruktion an dem Mangel, dafs die Gewichtbelastung das Moment des Schreibhebels in hohem Grade vermehrt, so dafs die Kurven ziemlich unzuverlässig werden.

Alle bisher angewandten Formen der Sphygmographen zeigen also plethysmographische Wirkungen, die mit Veränderungen des arteriellen Blutdrucks wenig oder nichts zu schaffen haben[1]. Nur wenn das Niveau des Sphygmogramms in einer Richtung schwankt, welche der des gleichzeitig aufgenommenen Plethysmogramms entgegengesetzt ist, kann man hieraus positive Schlüsse ziehen; eine solche entgegengesetzte Schwingungsrichtung ist jedoch äufserst selten und kann sich nur einen Augenblick lang zeigen, indem im nächsten Moment die plethysmographischen Wirkungen im Sphygmogramme die Oberhand gewinnen[2]. Ebensowenig läfst sich etwas aus den Veränderungen der Pulshöhen in den Sphygmogrammen schliefsen, weil dieselben, wie erwähnt, bei den meisten Apparaten eine direkte Folge der Volumveränderungen des Armes sind. Könnte es dagegen gelingen, die plethysmographischen Wirkungen aufzuheben und einen konstanten Druck auf die Arterie zu erreichen, so würde man an den Pulshöhen einen Stützpunkt für die Erklärung der Kurven haben. Wieviel sich dann sonst hieraus schliefsen läfst, das bleibt eine Sache für sich, die wir später untersuchen werden.

Um die genannten Vorteile zu erzielen, suchte ich das Prinzip der Gewichtbelastung auf den Transmissionssphygmographen zu übertragen, wodurch sich ein konstanter Druck herstellen läfst, ohne dafs der Schreibhebel dadurch beeinflufst würde. Die Konstruktion des Apparats zeigt Fig. 2. Derselbe besteht aus einem leichten Metallbügel, der mittels zwei über die hervor-

---

[1] Vgl. z. B. v. Frey: Die Untersuchung des Pulses. Berlin 1892. S. 37, 208 u. 210.

[2] Siehe Binet et Courtier: Circulation capillaire etc. L'année psychologique II, Fig. 33, S. 156. Dies ist aber wohl auch so ziemlich der einzige unzweifelhafte Fall unter allen reproduzierten Kurven.

Digitized by Google

stehenden Endstücke des Bügels geführter Gummiringe an den Arm befestigt wird. Die Endstücke sind nach der Form des Arms schwach gekrümmt, um desto sicherer ruhen zu können. Oben trägt der Bügel einen durchbohrten Metallcylinder, in welchem die Röhre der Pelotte leicht auf und nieder geschoben und mittels einer Schraube in der rechten Stellung festgehalten werden kann. Wenn der Apparat, der Knopf der Pelotte auf der Arterie ruhend, am Arme angebracht ist, wird der

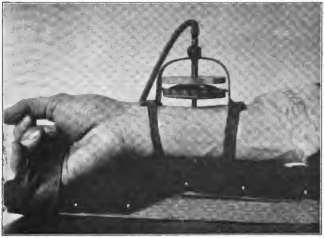


Fig. 2.

rechte Druck mittels eines Gewichts hervorgebracht, welches so ausgeschnitten ist, dafs es sich um die Pelottenröhre schieben läfst. Versuche erwiesen, dafs 100 gr die zweckmäfsige Gröfse dieses Gewichts waren; dieser Wert ist wahrscheinlich aber nur für das einzelne Exemplar von Gültigkeit. Das Gewicht drückt die Pelotte an die Arterie, und die Stellung wird durch Anziehen der Schraube gesichert. Die Wirkung des Apparats ist nun leicht verständlich. Zunächst sind es die beiden Gummiringe, die die plethysmographischen Niveauveränderungen der Kurve aufheben, indem sie den Bügel und somit auch den Knopf der Pelotte unausgesetzt an den Arm gedrückt halten, selbst wenn

Digitized by Google

dessen Rauminhalt variiert. Das Gewicht, das ich während der Arbeit gewöhnlich auf der Pelotte ruhen lasse, trägt wohl auch das seinige hierzu bei; seine Bestimmung ist übrigens besonders die, einen geeigneten Druck hervorzubringen, so dafs man sich nicht mühsam vorzufühlen braucht.

Den Beweis, dafs der Sphygmograph richtig appliziert ist und korrekt arbeitet, liefert er selbst dadurch, dafs die gezeichnete Kurve überhaupt ihr Niveau nicht verändert, nicht einmal bei den stärksten Volumveränderungen des Armes. Die Basis der Pulse soll mit andern Worten auf einer Geraden stehen. Geht man nun die vorliegenden Tafeln durch, um zu sehen, ob dies stichhaltig ist, so zeigen z. B. Tab. XVI, XVII, XIX und XX, dafs das Sphygmogramm (die obere der beiden Pulskurven) dem blofsen Auge auf einer Geraden zu stehen scheint, selbst wo das Plethysmogramm grofse Volumschwankungen anzeigt. Legt man aber ein Lineal an, so entdeckt man doch leicht kleine Niveauveränderungen, die in derselben Richtung gehen wie die des Plethysmogramms. Dies ist besonders deutlich Tab. XX, B zu ersehen, wo das Sphygmogramm ausnahmsweise unter dem Plethysmogramm zwischen zwei Geraden angebracht ist, eben um die Niveauveränderungen hervortreten zu lassen. Aber sogar wo diese am gröfsten sind, z. B. Tab. LXV und LXVIII, D, sind sie im Vergleich damit, was ein gewöhnlicher Sphygmograph leistet, doch nur minimal[1]. Solange der Apparat unverändert an derselben Stelle sitzt, wird man deshalb berechtigt sein, aus den aufgezeichneten Variationen der Pulshöhe Schlüsse in betreff der Zirkulationsverhältnisse der Arterien zu ziehen. Dagegen wird der Unterschied der Pulshöhe von Tag zu Tage ein mehr zufälliger, so dafs sich hierauf nichts stützen läfst, weil man selbst bei der gröfsten Sorgfalt den Apparat wohl kaum jedesmal genau an demselben Punkte der Arterie zu applizieren im stande sein wird.

[1] Vgl. die Abbildungen in dem oben citierten Aufsatze von Binet u. Courtier. Die Niveauschwankungen sind hier oft gröfser als die Pulshöhen.

Der Plethysmograph. Ein Apparat, der dazu dienen kann, die Volumveränderungen eines begrenzten Teiles des Organismus, z. B. eines Armes, zu zeigen, wird in seiner einfachsten Gestalt folgende Form haben. Eine am einen Ende verschlossene Röhre, eben hinlänglich weit, um den Arm fassen zu können, ist mit einer kleinen Seitenröhre versehen. Nach Einführung des Armes in die Röhre wird er mittels eines engen, den freien Teil des Armes und das obere, offene Ende der Röhre umfassenden Gummiärmels mit der Röhre verbunden. Durch die nach oben gekehrte Seitenröhre wird nun der durch den Arm, den Gummiärmel und die Röhre abgegrenzte Raum mit Wasser von geeigneter Temperatur (ca. 35° C.) gefüllt, so dafs dieses ein wenig (ca. 1 cm) in die Seitenröhre emporragt. Jede Veränderung des Rauminhalts des Armes wird sich dann durch eine Änderung des Niveaus der Wasserfläche in der Seitenröhre zu erkennen geben, und wird diese mit einem Schreibhebel in Verbindung gebracht, so werden die Volumveränderungen sich auf dem Kymographen registrieren lassen.

Versieht man die den Arm umschliefsende Röhre an dem geschlossenen Ende mit einer kurzen Röhre, die mittels eines Gummischlauchs mit einer weiten Wasserstandsflasche in Verbindung steht, so werden die langsam verlaufenden Volumänderungen des Armes Zeit erhalten, sich auszugleichen, indem Wasser aus der Wasserstandsflasche oder in diese zurückfliefst, so dafs das Niveau in der Seitenröhre ungefähr konstant bleibt. Diese langsamen Volumveränderungen treten deshalb in den Kurven nicht hervor. Schneller verlaufende Volumveränderungen, z. B. die Pulse, erhalten dagegen keine Zeit, sich durch eine Bewegung des Wassers nach oder aus der Wasserstandsflasche auszugleichen, und man erhält daher eine sphygmographische Kurve auf den rotierenden Cylinder gezeichnet, die nur in gewissen Einzelheiten von einem gewöhnlichen Sphygmogramm abweicht. Dieser Apparat ist Mossos Hydrosphygmograph.

Bei dieser Konstruktion des Apparats kann man den Hydrosphygmographen leicht in einen Plethysmographen umwandeln, indem man nur die Verbindung

mit der Wasserstandsflasche unterbricht, z. B. mittels eines Quetschhahns an dem Gummischlauche. So war der Plethysmograph eingerichtet, mit welchem ich meine früheren Untersuchungen anstellte. Die Wasserstandsflasche hat hier nur die Bedeutung, dafs die Röhre sich durch dieselbe leichter füllen läfst, und im Fall eines Austretens von Wasser am Ärmel kann das ursprüngliche Niveau durch Öffnen des Quetschhahns sogleich wiederhergestellt werden. Dieser Apparat leidet indes an einer grofsen Menge von Mängeln. Entweder schliefst der Gummiärmel nicht hinlänglich fest um den Arm, und dann fliefst leicht einiges Wasser aus, wodurch die Kurven natürlich unbrauchbar werden, oder auch schliefst der Ärmel zu fest, so dafs er die freie Blutzirkulation im Arme hemmt; die rechte Straffheit zu treffen fällt sehr schwer. Endlich ist es auch nahezu unmöglich, bei jeder wiederholten Applizierung des Apparats genau den nämlichen Teil des Armes in der Röhre eingeschlossen zu bekommen. Folglich dürfen die Pulshöhen der an verschiedenen Tagen aufgenommenen Kurven nicht miteinander verglichen werden. Alle diese Mifslichkeiten lassen sich vermeiden, wenn man es unterläfst, die Röhre mit Wasser zu füllen, und die Volumveränderungen des Armes direkt auf die Luft in der umgebenden Röhre wirken läfst. Ein solcher Aëroplethysmograph ist aber ein äufserst schwer zu behandelnder Apparat. Da die Volumveränderungen des Arms im Vergleich mit dem Rauminhalt der in der Röhre eingeschlossenen Luft nämlich sehr klein sind, so werden ebenfalls die Druckvariationen der letzteren, die den Schreibhebel in Bewegung setzen, sehr klein. Deshalb ist es schwierig, mit dem Apparat zu arbeiten, denn ein geringfügiger Umstand, ein zu harter Druck des Schreibhebels gegen den Cylinder oder auch nur eine zu dicke Schicht Rufs desselben genügt, um die Bewegung des Schreibhebels zu hemmen. Obschon der Apparat im Prinzipe als ideal zu betrachten ist, sind diese praktischen Schwierigkeiten doch so grofs, dafs er zu Versuchen in gröfserem Umfange kaum geeignet ist; ich habe jedenfalls keine brauchbaren Resultate damit erzielen können.

Ein anderer Weg, die dem einfachen Plethysmo-

graphen anhaftenden Mängel zu vermeiden, ist der mit Mossos Sphygmomanometer eingeschlagene. Im Sommer 1894 sah ich im Leipziger psychophysischen Laboratorium das einzige damals existierende Exemplar dieses Apparats, und das hier angewandte Prinzip diente zur Grundlage meines Plethysmographen, da alle Versuche, mit dem Aëroplethysmographen zu arbeiten, fehlschlugen. Soweit ich jetzt nach zweijährigem anhaltendem Arbeiten mit dem Apparate urteilen kann, erfüllt er alle billigen Forderungen in betreff leichter Anwendbarkeit und Genauigkeit. Die Konstruktion ist folgende:

Die Röhre, in welche der Arm eingeführt wird, ist aus Metallblech, von mehreren Schichten wollenen

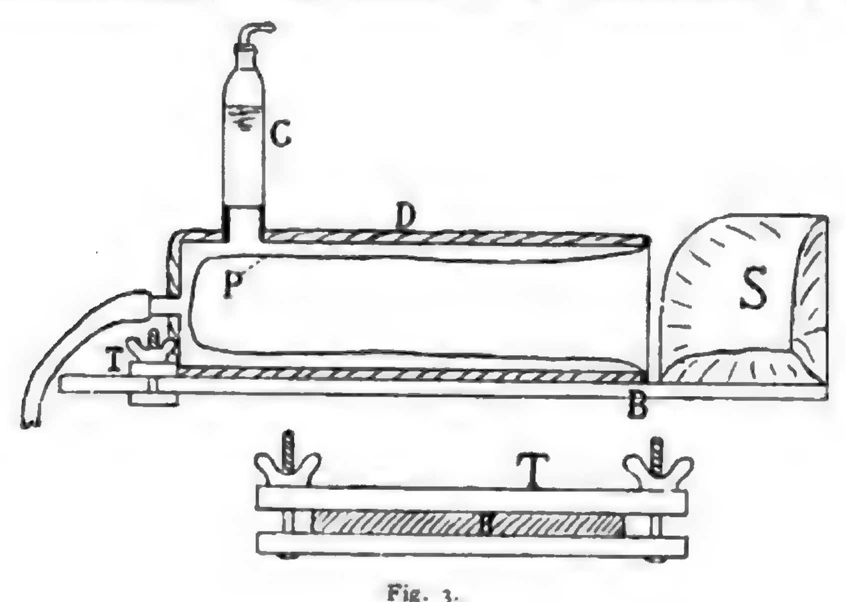


Fig. 3.

Zeuges und Watte umgeben, um den Wärmeverlust an die Luft zu verhindern; das Ganze ist von einer Schutzdecke aus starker Leinwand, D, Fig. 3, umgeben. Übrigens ist diese Röhre, ebenso wie an dem einfachen Plethysmographen, mit zwei Seitenröhren versehen, deren eine in die Wasserstandsflasche führt; um die andere, aufwärtsgehende, ist eine 28 mm weite Glasröhre C angebracht, deren Länge sich nach dem gewünschten Drucke verändern läſst, und die oben in eine feinere Röhre ausläuft, über welche der zum Schreibtambour führende Gummischlauch sich schieben läſst. In der groſsen Röhre findet sich ein sehr feiner und weicher Gummisack P, dessen offenes Ende um den Rand der Röhre gebogen und wasserdicht an

diesen befestigt ist. Die Dimensionen des Gummisacks sind ungefähr dieselben wie die der Röhre. Der Arm wird in diesen Sack gesteckt, und wenn nun das Wasser aus der Wasserstandsflasche herbeigeleitet wird, erfüllt es den Raum zwischen der Röhre und dem Gummisack und steigt in die Glasröhre hinauf. Die Druckhöhe läfst sich durch Hebung oder Senkung der Wasserstandsflasche genau regulieren. Wegen des Wasserdrucks schliefst der weiche Gummisack dicht an den Arm, und jede Volumveränderung des letzteren teilt sich folglich dem Wasser und der in der Glasröhre stehenden Luft mit, von welcher die Bewegung sich weiter nach dem Schreibtambour fortpflanzt. Auch diesen Apparat kann man natürlich entweder als Hydrosphygmographen wirken lassen, indem man die Verbindung mit der Wasserstandsflasche offen hält, oder auch als Plethysmographen, indem man die Verbindung unterbricht.

Zu beachten ist noch, dafs sowohl der Arm als die Röhre durchaus fest liegen mufs, weil der Druck des Wassers sie sonst auseinander schieben würde. Ich fand es am bequemsten, den Arm auf einem horizontalen Brette B ruhen zu lassen, das am einen Ende eine gepolsterte Lehne S für den Ellbogen, am andern Ende eine verschiebbare Querleiste T trägt, an welche die Röhre andrückt. Der untere Teil der Fig. 3 zeigt das Brett mit der Querleiste, vom Ende aus gesehen. Die Stellung der Querleiste variiert selbstverständlich mit der Länge des Arms; ist sie aber einmal für eine bestimmte Versuchsperson gefunden und auf dem Brette bezeichnet, so ist das Anlegen der Röhre später das Werk einiger Sekunden. Es ist übrigens leicht zu ersehen, dafs der Arm fast rechtwinkelig gebogen zu halten ist, damit der Ellbogen sich an das gepolsterte Endstück des Brettes lehnen kann; diese Stellung ist indes eine sehr bequeme und natürliche und verursacht deshalb auf die Dauer keine Unannehmlichkeiten. Um die Stellung möglichst gemächlich zu machen, ist überdies das den Arm und die Röhre tragende Brett mittels langer Schnüre an ein Stativ aufgehängt, so dafs die Versuchsperson selbst das Ganze nach der geeignetsten Richtung drehen kann. Andern Zweck hat dieses Aufhängen an Schnüren hier nicht, da der Arm und die Röhre sich nicht aus ihrer gegenseitigen Stellung ver-

schieben lassen. Mit dem alten Plethysmographen, wo dies nicht der Fall ist, wird das Aufhängen an Schnüren dagegen notwendig, weil jede unwillkürliche Bewegung des Armes sich sonst dem Wasser in der Röhre mitteilt und in den Kurven falsche Volumveränderungen hervorruft. So werden während des Atmens die Bewegungen des Brustkastens sich dem Arme mitteilen, der deshalb, wenn die Röhre festliegt, synchron mit der Respirationsperiode weiter in die Röhre hineingeschoben oder aus derselben herausgezogen werden wird. Hierdurch werden die gleichzeitig stattfindenden respiratorischen Veränderungen des Armvolumens markiert. Wenn bei meinen früheren Untersuchungen das Hervortreten der Respiration in den Plethysmogrammen weit deutlicher war als bei den hier vorliegenden, so rührt das sicherlich von dem Umstand her, dafs ich damals nicht die notwendigen Mafsregeln getroffen hatte, um die Bewegung des Armes im Takt mit dem Atmen vorwärts und rückwärts in der Röhre zu verhindern.

Damit der Arm durchaus fest und unbeweglich in der Röhre liegen kann, darf deren Weite natürlich nicht zu grofs sein. Anderseits darf die Röhre auch nicht so lang sein, dafs sie das Ellbogengelenk drückt. Am besten ist es deshalb, eine Reihe verschiedener Röhren zu haben, die für die Arme passen, mit welchen man zu thun hat. Ich benutzte vier Röhren: Nr. 1, 32 cm lang, 34 cm im Umkreis; Nr. 2, 32 cm lang, 31 cm im Umkreis; Nr. 3, 29 cm lang, 28 cm im Umkreis, und Nr. 4, 26 cm lang, 28 cm im Umkreis. Nr. 2 wurde am häufigsten benutzt; die beiden letzteren waren weiblichen Armen speziell angepafst.

Nimmt man alle hier erwähnten Rücksichten, um die Stellung des Armes in der Röhre zu sichern, so hat dies zur Folge, dafs die Pulshöhen verschiedener Tage sich miteinander vergleichen lassen. Denn wenn infolge der Konstruktion des Apparats der Arm stets dieselbe Stellung einnimmt, und wenn überdies stets der nämliche Teil des Armes eingeschlossen ist, so kann unter sonst ganz gleichen Umständen die Pulshöhe nicht variieren. Sehr häufig wurde der Versuch gemacht, nach einem Zwischenraum von ganz kurzer

Digitized by Google

Zeit der nämlichen Versuchsperson den Apparat von neuem wieder anzulegen, und niemals wurde ein merkbares Variieren der Pulshöhe gefunden, vorausgesetzt, dafs der psychische Zustand wesentlich unverändert blieb. Der beste Beweis hiervon ist aber gewifs der Umstand, dafs sich in den vorliegenden Kurven eine jährliche Periode der Pulshöhe nachweisen läfst, worüber näheres unten. Ein solches Verhältnis würde sich nicht konstatieren lassen, wenn die Höhe von der Weise abhängig wäre, wie der Apparat angelegt wird.

Es gilt nun zuvörderst, zu bestimmen, wie grofs der Wasserdruck im Plethysmographen sein darf. Da die Wände der feineren Gefäfse sehr weich sind und sich leicht zusammendrücken lassen, wodurch die freie Bewegung des Blutes gehemmt und eine künstliche Verminderung des Armvolumens erzeugt wird, so mufs der äufsere Druck offenbar möglichst nahe an Null sein und konstant gehalten werden, weil jede Änderung des äufseren Drucks eine entsprechende Volumänderung zur Folge haben wird. Ist die Aufgabe die genaue Ausmessung der Veränderungen des Armvolumens, so mufs daher notwendigerweise die Forderung gestellt werden, dafs es überhaupt keinen äufseren Druck gibt. Bei den vorliegenden Versuchen aber, wo es sich nicht um eine quantitative, sondern nur um eine qualitative Bestimmung der Volumveränderungen handelt, wird es keinen Nachteil bringen, mit einem geringen äufseren Druck zu arbeiten, weil der arterielle Blutdruck, der wohl normal auf 7 bis 8 cm Quecksilber oder ungefähr 100 cm Wasser angesetzt werden darf, das Hemmnis, das ein äufserer Druck von einigen wenigen Centimetern Wasser der freien Bewegung des Blutes darbieten kann, leicht überwinden wird. Und von diesem äufseren Druck, der wegen der Volumveränderungen des Arms kein ganz konstanter wird, läfst es sich dann leicht nachweisen, wie er nur den Einflufs erhält, dafs nicht der wahre, sondern nur der ein wenig verminderte Wert der Volumveränderung in den Kurven zur Geltung kommt.

Denken wir uns nämlich den Arm im Plethysmographen eingeschlossen und das Wasser z. B. 10 cm hoch in der Druckröhre stehend; der Druck der dar-

überliegenden Luft wird gleich dem der Atmosphäre angesetzt. Das Volumen des Arms ist nun wegen der Zusammenpressung etwas kleiner, als es ohne diesen äufseren Druck sein würde. Findet nun eine physiologische Volumverminderung statt — einerlei, ob diese von einem geringeren arteriellen Blutzuflufs, einem stärkeren Abflufs des venösen Blutes oder einer aktiven Gefäfskontraktion herrühren möchte — so wird das Wasser in der Druckröhre sinken, und ist diese mit dem Schreibtambour in Verbindung gesetzt, so wird die über dem Wasser stehende Luft verdünnt werden. Der Druck der äufseren Luft spannt nun die Membran des Tambours, bis die Spannung der Membran plus dem Drucke der eingeschlossenen Luft gleich dem Drucke der Atmosphäre ist. Da der Druck der eingeschlossenen Luft nun also geringer als der der Atmosphäre, folglich kleiner als vorher ist, und da aufserdem das Wasser in der Druckröhre niedriger steht, so ist der Arm im ganzen genommen einem geringeren Druck unterworfen und mufs sich deswegen etwas erweitern. Diese rein mechanische Erweiterung geschieht natürlich gleichzeitig damit, dafs der Druck wegen der physiologischen Volumverminderung sinkt; die gesamte resultierende Volumverminderung ist also geringer, als sie gewesen sein würde, wäre der Druck konstant gehalten. Hieraus folgt ferner, dafs die mechanische Erweiterung des Armes die physiologische Volumverminderung niemals aufwiegen, geschweige denn übersteigen kann. Denn damit würde der Druck ja konstant gehalten werden — oder sogar bis über seinen ursprünglichen Wert anwachsen — und in diesem Falle könnten die Gefäfse gar nicht zur Erweiterung kommen, und man müfste die ganze wirkliche Verminderung in den Kurven erblicken. Da ganz analoge Verhältnisse bei einer physiologischen Volumvergröfserung stattfinden, durch welche der Druck vermehrt und die Gefäfse komprimiert werden, so folgt also hieraus, dafs man in allen Fällen eine Volumveränderung erblickt, die etwas geringer als die wahre ist. Da diese Reduktion ohne Belang ist, wenn es nicht darauf ankommt, genaue Messungen anzustellen, so enthält das Arbeiten mit einem äufseren Druck nichts

Digitized by Google

Bedenkliches. Gröſser als notwendig darf dieser jedoch nicht sein, und es ist deshalb geboten, zu untersuchen, welchen Einfluſs Drucke von verschiedener Gröſse auf die Form der Kurven haben; hierdurch läſst sich also das Minimum des Druckes bestimmen, der brauchbare Kurven gibt.

Zu diesem Zweck wurden mit dem Plethysmographen Volumkurven bei verschiedenen, zwischen 4 cm und 25 cm Wasser variierenden Drucken aufgenommen. Eine Strecke von jeder dieser Kurven ist Tab. I, Spalte 1 wiedergegeben; über jeder derselben ist die Druckhöhe H in Centimeter Wasser und ebenfalls die Länge L des darüberstehenden Luftraumes in Centimetern angegeben. Die Summe $H + L$ ist konstant, entweder 13 cm oder 34 cm, indem die beiden benutzten Druckröhren diese Längen hatten. Alle Kurven sind, wie zu ersehen, nach steigenden Werten von H von oben abwärts geordnet, und es zeigt sich nun, was nach anderswoher bekannten Erfahrungen zu erwarten stand, daſs die Pulshöhe bei wachsenden Werten von H anwächst. Die Gröſse des Luftraums scheint keinen wesentlichen Einfluſs hierauf zu haben. Bei 10 cm Druck wurden zwei Kurven aufgenommen, die eine mit 3 cm, die andere mit 24 cm Luftraum, die Höhe der Pulse scheint indes hiervon unabhängig zu sein. Dagegen hat die Gröſse des Luftraums Einfluſs auf die langsam verlaufenden Volumveränderungen, die sich nicht als Wellen durch die Luft fortpflanzen, wohl aber den Druck der gesamten eingeschlossenen Luft verändern. Es sei dieser Druck von Anfang an gleich dem der Atmosphäre und das Volumen der eingeschlossenen Luft V ccm. Wird nun der Rauminhalt der eingeschlossenen Luft um $\pm$ A ccm vermehrt, so wird der Druck der Luft $\frac{V}{V \pm A} = \frac{1}{1 \pm \frac{A}{V}}$.

Da aber A/V bei dem nämlichen Werte von A um so gröſser wird, je kleiner V ist, so wird eine gegebene Veränderung des Niveaus des Wassers um so gröſseren Einfluſs auf den Druck der eingeschlossenen Luft erhalten, je kleiner der Luftraum V ist. Und da es der Druck der eingeschlossenen Luft ist, der den Ausschlag

Digitized by Google

des Schreibhebels bestimmt, so werden folglich die langsam verlaufenden Volumveränderungen um so weniger in den Kurven hervortreten, je gröfser der Luftraum ist. Dies ist natürlich nicht direkt durch Vergleich der vorliegenden Kurven zu ersehen, weil es nicht gegeben ist, dafs die wirklichen Volumveränderungen bei den verschiedenen Drucken die nämliche Gröfse hatten. Es ist zunächst als ein Zufall zu betrachten, dafs die beiden mit dem gröfsten Luftraum (H = 10, L = 24 und H = 15, L = 19) aufgenommenen Kurven nahe daran sind, auf einer Geraden zu stehen. Die Erfahrung bestätigt aber übrigens völlig die Resultate der theoretischen Betrachtung: dafs man durch Anwendung grofser Lufträume die Ausschläge der langsam verlaufenden Volumveränderungen in den Kurven vermindern kann. Macht man z. B. den Luftraum unendlich grofs, indem man mittels einer sehr feinen Öffnung die eingeschlossene Luft mit der Atmosphäre in Verbindung setzt, so werden die Pulswellen sich fast unverändert abzeichnen, während alle anderen Volumveränderungen in den Kurven verschwinden.

Nähere Betrachtung der Kurven Tab. I Spalte 1 zeigt, dafs die Kurve für H = 4 ziemlich unregelmäfsig ist und die einzelnen Pulsschläge nicht deutlich hervortreten läfst. Dies kommt wahrscheinlich daher, dafs 4 cm Wasserdruck nicht genügt, um den Widerstand des Gummisacks zu überwinden und letzteren fest an den Arm zu pressen. Bei H = 5 fallen diese Unregelmäfsigkeiten fast weg, und bei höherem Druck finden sie sich nirgends. Hieraus scheint hervorzugehen, dafs die Spannung des Gummisacks gleich 5 cm Wasserdruck ist; weiter hinab darf man also nicht gehen. Da nun die Volumveränderungen des Arms, wie oben erwähnt, Veränderungen des Drucks herbeiführen, so mufs dieser daher von Anfang an etwas gröfser als 5 cm genommen werden, damit er während der Versuche nicht unter diesen Wert sinkt. Die ersten Versuche wurden bei 18 cm Druck (L = 16 cm) angestellt, damit die Pulsschläge sehr deutlich werden könnten; da die Versuchspersonen sich indes beklagten, weil der Druck auf die Dauer unangenehm wurde, schritten wir sogleich zu 10 cm Druck (L = 3 cm). Mit diesem Druck wurden

die allermeisten Versuche ausgeführt; wo ein einzelner der früheren, mit H = 18 cm, in den Tafeln angeführt ist, wird es ausdrücklich bemerkt werden, dafs hier dieser Wert von H benutzt wurde. Wie grofs die Druckvariationen übrigens werden können, das wird im folgenden näher erläutert werden.

Es ist leicht zu ersehen, dafs der hier beschriebene Apparat sich ebensowohl wie der alte Plethysmograph als Hydrosphygmograph benutzen läfst, wenn man den Quetschhahn nach der Wasserstandsflasche zu öffnet. Hierbei ist jedoch zu beachten, dafs der Gummischlauch, der die Röhre mit der Wasserstandsflasche verbindet, weder zu lang noch zu eng sein darf, denn alsdann lassen sich die Niveauveränderungen nicht hinlänglich geschwind ausgleichen, und die Kurven zeigen dann aufser den Pulsen auch andere Volumschwankungen, besonders die respiratorischen. Dies tritt deutlich Tab. I, A hervor, wo die obere Kurve die Respiration, die untere ein Hydrosphygmogramm gibt, das mit einem Gummischlauch von 7 mm Weite und 100 cm Länge zwischen der Armröhre und der Wasserstandsflasche genommen wurde. Nach Verkürzung des Schlauches auf 40 cm fielen in den Kurven die respiratorischen Veränderungen weg, vgl. I, B. Beide diese Kurven sind mit dem oben nachgewiesenen Minimum des Drucks, 5 cm Wasser, genommen; hier brauchte nämlich kein Drucküberschufs zu sein, da das Niveau des Wassers, mithin der Druck, konstant ist. Einzelne Male habe ich der Kontrolle wegen in zweifelhaften Fällen Hydrosphygmogramme aufgenommen; hierzu wurde stets der hier beschriebene Apparat bei 5 cm Druck und mit einem Schlauche von 40 cm Länge zwischen der Armröhre und der Niveauflasche benutzt.

Nimmt man gleichzeitig ein Sphygmogramm und ein Plethysmogramm auf, so wird man leicht sehen, dafs in den beiden Kurven die korrespondierenden Pulse nicht fortwährend genau senkrecht untereinander stehen, selbst wenn die Spitzen der Schreibhebel von Anfang an in derselben Erzeugenden auf dem rotierenden Cylinder lagen. Tab. I, C zeigt dieses. Die oberste Kurve ist die Respiration, darauf folgt das Sphygmogramm, zu unterst das Plethysmogramm. Von Anfang

an standen die Schreibhebel für die beiden untersten Kurven in der Erzeugenden *ha*, während der Volumveränderungen des Arms geht die eine jedoch abwärts, nicht in der Geraden *hai*, sondern in dem Bogen *ag*. Infolgedessen liegt der *h* entsprechende Punkt *k* des Plethysmogramms nicht senkrecht unter *h*. Erst wenn die Kurve bis zur wagerechten Linie *ab* gestiegen ist, welche der Schreibhebel beschrieben haben würde, wenn keine Volumveränderung stattgefunden hätte, liegen die korrespondierenden Punkte wieder in der nämlichen Erzeugenden, so z. B. *c* & *d*, *e* & *f*. Diese Verschiebungen sind bei Ausmessungen eines Plethysmogramms natürlich zu berücksichtigen; wenn wir später die Bearbeitung des Materials besprechen, kommen wir hierauf zurück.

Ein flüchtiger Blick auf die folgenden Tafeln wird zeigen, dafs die Höhe der Pulse in den Plethysmogrammen oft eine ziemlich beträchtliche ist. Es mufs daher untersucht werden, wie zuverlässig diese Kurven sind, denn je gröfser die Pulse werden, um so gröfser mufs die Geschwindigkeit des Schreibhebels, mithin auch dessen Bewegungsenergie sein, was wieder zur Folge hat, dafs er nicht im rechten Augenblick anhält, sondern weiter geschleudert wird. Diese Sonderbewegungen, die sich in den Pulskurven als Spitzen und stark markierte sekundäre Erhöhungen zeigen, sind leicht zu vermeiden, indem man den Angriffspunkt der Kraft weiter in den Schreibhebel hinaus, von dessen Umdrehungspunkt weg, verlegt, mit andern Worten, indem man eine geringere Vergröfserung benutzt. Die hier angewandten Schreibhebel waren 180 mm lange, sehr dünne und leichte Aluminiumfedern; der Angriffspunkt der Kraft lag an dem Tambour, der mit dem Plethysmographen in Verbindung gesetzt war, 7 mm von dem Umdrehungspunkt des Stiftes entfernt; die Vergröfserung war folglich eine 25fache. Bei den Respirationskurven war die Vergröfserung bedeutend geringer, bei den Sphygmogrammen ungefähr doppelt so grofs; da die Höhe der Pulse hier aber sehr klein ist, brauchen wir die Verhältnisse nur in betreff der Plethysmogramme zu untersuchen.

Bei diesen Untersuchungen wurde ein Apparat zur

Erzeugung künstlicher Pulsbewegungen gebraucht (siehe Fig. 4), der aus einer Pelotte P mit einer starken und steifen Gummimembran bestand, an deren Mitte eine kleine Messingscheibe angebracht war. Gegen diese drückt eine exzentrische Scheibe E mit ziemlich unregelmäſsigem Umkreis an; mittels einer Kurbel H läſst sich das Exzentrik in umdrehende Bewegung setzen. Hierdurch wird nun ein wechselnder Druck auf die Pelotte erzeugt, welchen eine Kurve, die sich je nach der Form des Exzentriks einem natürlichen Pulse mehr oder weniger nähert, graphisch wiedergibt. Dreht man anfangs die Kurbel sehr langsam, so gerät der Schreibhebel in entsprechend langsame Bewegung, und die entstandene Kurve ist dann ganz ohne Verzeichnung. Je geschwinder man die Kurbel dreht, um so gröſser wird die Beschleunigung des Schreibhebels in auf- und absteigender Richtung, und bei einer gewissen, von der Exzentrizität der Scheibe und der hierdurch bestimmten Gröſse der Ausschläge abhängigen Geschwindigkeit verrät sich die Sonderbewegung des Schreibhebels durch Spitzen an allen Wendepunkten der Kurve. Tab. I, D gibt ein deutliches Bild hiervon. Wenn man die Exzentrizität der Scheibe variiert, wird man leicht diejenige Gröſse der Ausschläge finden können, welche noch dann ohne Verunstaltung ist, wenn die ganze auf- und abgehende Bewegung während der Zeit, die ein Puls gewöhnlich in Anspruch nimmt, vollendet wird. Dies ist so ziemlich mit der Tab. I. D gezeigten Kurve der Fall. Die drei durch die Ziffern 6, 5 und 4 bezeichneten künstlichen Pulsschläge entsprechen an Zeit resp. 60, 72 und 90 Pulsen pro Minute. In einer Minute dreht sich der Cylinder nämlich 360 mm; die drei Kurven spannen resp. 6, 5 und 4 mm, folglich können in einer Minute 360 6 = 60, 360 5 = 72 und 360 4 = 90 derartige Bewegungen ausgeführt werden. Und wie die Figur erweist, sind die beiden ersten fast ohne Verzeichnung; nur die sekundären Erhöhungen sind ein wenig gar zu

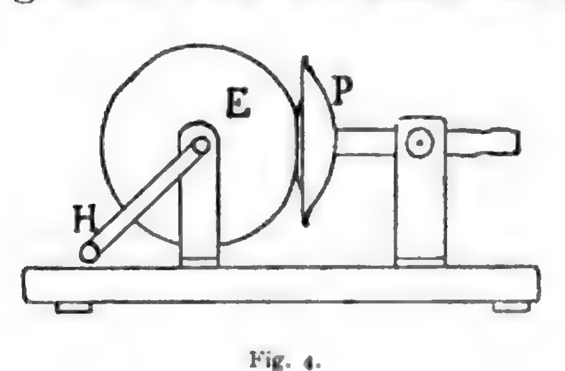


Fig. 4.

Digitized by Google

markiert, was ein Vergleich mit den voranstehenden, langsameren Bewegungen erblicken läſst. Erst wenn die Länge des Pulses bis auf 4 mm sinkt, wird die Kurve verzeichnet und unzuverlässig. Nun kommt es indes nirgends vor, daſs die Pulse die Höhe, 25 mm, der hier registrierten Ausschläge erreichen; die höchsten in unsern Tafeln vorkommenden Pulse überschreiten kaum 21 mm (siehe Tab. XXVI und LXVI). Und da die Pulslänge hier überdies nicht unter 4,3 mm sinkt, so darf man diese Kurven als annähernd fehlerlos betrachten; nur die sekundären Wellen sind wahrscheinlich zu stark markiert.

Alle unter gewöhnlichen Umständen vorkommenden Volumveränderungen sind bei denjenigen Werten des Wasserdrucks und der Vergröſserung des Schreibhebels, welche, wie erwähnt, bei den Untersuchungen angewandt wurden, leicht durch den Apparat zu registrieren. Bei starken Gemütsbewegungen aber, bei dem Übergang aus Wachen in Schlafen oder umgekehrt können die Volumveränderungen so groſs werden, daſs der Schreibhebel sie nicht aufzuzeichnen vermag. Bei groſsen Volumverminderungen kann der Hebel nämlich so tief sinken, daſs er an den Rand des Tambours anschlägt, und von diesem Augenblick an zeichnet er nur eine gerade Linie (vgl. Tab. XIV, D). Leichter folgt der Hebel einer gewaltigen Volumvergröſserung (siehe z. B. Tab. XII, B), wegen der Krümmung des Cylinders wird jedoch einmal der Punkt erreicht werden, wo der Hebel die Schreibfläche nicht mehr berührt. Am sichersten arbeitet man diesen allzu groſsen Ausschlägen dadurch entgegen, daſs man im rechten Augenblick das kleine Ventil, die Klarinette, öffnet, das sich an der Verbindungsröhre des Tambours findet. Hierdurch wird der Druck der eingeschlossenen Luft gleich dem der Atmosphäre, und der Schreibhebel bewegt sich sofort nach der Ausgangslinie zurück. Schlieſst man darauf die Klarinette wieder, so werden die folgenden Volumveränderungen von der vorhergehenden unabhängig verlaufen, und bei Bestimmung der gesamten Volumveränderung müssen sie folglich zu dieser addiert werden (mit Vorzeichen). Tab. XII, B und XIV, D zeigen mehrere derartige Sprünge des Schreib-

Digitized by Google

hebels zur Ausgangsstellung zurück nach Öffnung der Klarinette.

Diese Methode zur Ausgleichung grofser Volumveränderungen ist eigentlich die beste, weil die Bewegung des Schreibhebels nach der Ausgangsstellung so schnell geschieht, dafs nur ein einziger, höchstens zwei Pulse unlesbar werden. Sie erfordert indes, dafs fortwährend eine Person am Kymographen sitzt und die Kurven beobachtet, um die Klarinette im rechten Moment öffnen zu können. Geschieht dies nicht, so wird der Apparat versagen, und man erhält längere Zeit hindurch nur eine gerade Linie gezeichnet; vgl. XIV, B, wo auf diese Weise die Aufzeichnung während 40 Sek. verloren ging. Man bedient sich deshalb, wenn man nicht einen Assistenten am Kymographen sitzen haben kann, am besten eines automatischen Ventils, das sich bei bestimmter Druckdifferenz öffnet. Hierzu benutzte ich Müllers Flaschenventil, das in nebenstehender Fig. 5 schematisch wiedergegeben ist.

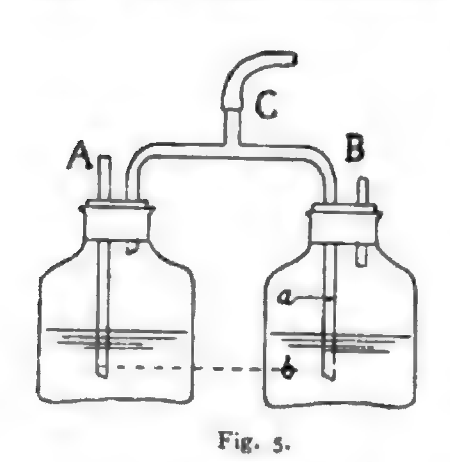


Fig. 5.

Die Röhre C wird mit der Luftleitung von dem Plethysmographen nach dem Schreibtambour in Verbindung gesetzt. Sinkt nun der Druck der im Plethysmographen und in der Leitung eingeschlossenen Luft, so wird auch die Luft in den beiden Flaschen verdünnt, und der Druck der äufseren Luft treibt in der Röhre A das Wasser abwärts, in der Röhre B aufwärts. Der Unterschied zwischen den Höhen der beiden Oberflächen in den Röhren gibt dann den Unterschied zwischen dem Druck der Atmosphäre und dem der eingeschlossenen Luft an. Erreicht dieser Druckunterschied eine gewisse Gröfse, so wird durch die Röhre A eine Luftblase eindringen, und jede fernere Verminderung des Drucks der eingeschlossenen Luft wird von diesem Augenblick an nur zur Folge haben, dafs durch A aus der Atmosphäre mehr Luft hineingelangt. Der Druckunterschied läfst sich also nicht ferner vermindern, und folglich wird das Niveau der Kurven konstant. Ganz analog ist

Digitized by Google

das Verhalten, wenn der Druck der eingeschlossenen Luft vermehrt wird, nur wird in diesem Falle das Wasser in A steigen, in B aber sinken, bis durch letztgenannte Röhre Luft zu entweichen anfängt. Jede solche aus dem Apparat entweichende oder in denselben eindringende Luftblase veranlaſst natürlich eine momentane Störung in den Kurven (siehe z. B. Tab. VII, D und LXIV, B; erstere zeigt das Eindringen, letztere das Entweichen der Luft). Solange diese Störungen der Kurven andauern, weiſs man also, daſs auch das Sinken oder Steigen des Volumens andauert. Dies genügt völlig zu einer qualitativen Bestimmung der Volumveränderungen, jedes Ausmessen ist hierdurch jedoch offenbar ausgeschlossen.

Das Ventil wurde bei unsern Versuchen so eingestellt, daſs es eben in dem Augenblick, da der Schreibhebel der Bewegung nicht mehr zu folgen vermochte, zu funktionieren begann. Dies geschah bei einem Druckunterschied (ab, siehe Fig. 5) von 2 cm Wasser. Somit ist also gegeben, daſs das Maximum des Druckes, den der Arm erlitt, 10 + 2 = 12 cm, das Minimum 10 — 2 = 8 cm war. Diese Grenzen hat der Druck, wenn das Ventil benutzt wurde, nie überschreiten können; und wo dasselbe nicht angewandt wurde, sind die entstandenen Kurven unlesbar, wenn der Druck über 12 cm stieg oder unter 8 cm sank, weil der Schreibhebel die Volumveränderungen nicht zu registrieren vermochte. — Zu bemerken ist übrigens, daſs die beiden angegebenen Druckgrenzen keineswegs das Maximum und Minimum desjenigen Druckes anzeigen, der wirklich auf der Oberfläche des Arms ruhte. Es wurde oben nachgewiesen, daſs der Gummisack des Plethysmographen wohl nicht eher den Arm fest umschlieſst, als bis das Wasser in der Druckröhre ungefähr 5 cm hoch steht. Dieser ganze Teil des Druckes wirkt also nicht direkt auf die Oberfläche des Arms, sondern zunächst als longitudinaler Druck; er wirkt deshalb namentlich auf die Finger der geballten Hand und verrät sich dadurch, daſs der Arm sich aus dem Plethysmographen verschiebt, wenn er nicht am Ellbogen unterstützt wird, der also seinen Teil dieses Druckes tragen muſs. Diese 5 cm Wasser sind daher

vom angegebenen Maximal- und Minimaldruck abzuziehen, der mithin resp. 7 und 3 cm wird.

Bei der Anwendung des Flaschenventils ist jedoch noch eins zu beachten. Wird dasselbe in die Luftleitung eingefügt, so zeigen sich die Ausschläge des Schreibhebels kleiner als vorher, weil der Druckunterschied zwischen der Atmosphäre und der eingeschlossenen Luft nun zum Teil in den Flaschen ausgeglichen wird, wo der Wasserstand in den Röhren unablässig variiert. Infolgedessen ist die Kraft vermindert, die dazu dient, die Membran des Schreibtambours in Bewegung zu setzen, und die Bewegungen des Schreibhebels werden somit kleiner. Will man die Pulshöhen vergleichen können, die mit und ohne Flaschenventil genommen sind, so bleibt also dessen Einfluſs zu bestimmen. Dies kann mittels des kleinen Apparats zur Erzeugung künstlicher Pulskurven geschehen; Tab. I, E zeigt eine derartige Bestimmung. Die ersten 4 Ausschläge sind hier ohne Flaschenventil aufgenommen; darauf wurde dieses eingefügt, während alles übrige unverändert blieb. Die nächsten 5 Ausschläge, nach Einfügung des Ventils in die Leitung genommen, zeigen sich deutlich vermindert, und das Verhältnis der Gröſse der Ausschläge zu einander in den beiden Fällen wird also denjenigen Bruch (hier ungefähr $^{11}/_{9}$) angeben, womit die mittels des Ventils verminderten Pulshöhen zu multiplizieren sind, um sich mit den andern vergleichen zu lassen. Eine solche Reduktion läſst sich indes leicht vermeiden, wenn man nur den Angriffspunkt der Kraft am Schreibhebel verändert, so daſs die Exkursionen mit Ventil ebenso groſs werden, wie sie vorher ohne Ventil waren. Die beiden letzten Erhebungen in der Kurve (I, E) sind nach solcher neuen Einstellung des Schreibhebels genommen, so daſs der Einfluſs des Flaschenventils hierdurch ausgeglichen ist. Diese Methode wurde bei den vorliegenden Versuchen überall angewandt, wo das Flaschenventil zur Verwendung kam; es lassen sich folglich alle Pulshöhen direkt vergleichen.

Anordnung der Versuche. Hierüber ist nicht viel im allgemeinen zu bemerken. Die Versuchsperson, V-P, saſs mit dem Rücken gegen den Kymo-

graphen, so daſs sie die Bewegungen des Schreibhebels nicht sehen konnte, und mit dem Gesicht einer Wand zugekehrt, wo möglichst wenig die Aufmerksamkeit zu fesseln vermochte. Der Versuchsleiter saſs gewöhnlich am Kymographen, um nach den aufgezeichneten Kurven den zum Eingreifen günstigen Moment bestimmen zu können. Die Reize, deren Gegenstand die V-P werden sollte, wurden entweder von dem Experimentator selbst oder auf ein gegebenes Signal von einem Assistenten angebracht. Ein Assistent war stets mitwirkend, wenn die Reize Manipulationen erforderten, die der auf seinem Platze sitzende Experimentator nicht auszuführen vermochte. Es war nämlich ein für allemal festgestellt, daſs geräuschvolle Bewegung ebensowenig wie lautes Reden während eines Versuches stattfinden durfte, solche Fälle natürlich ausgenommen, wo Bewegungen oder Reden ein integrierender Teil des Versuches waren. Besondere Apparate zum Reizen habe ich niemals benutzt, da sie mir ganz unnötig scheinen. Wenn alles, was gebraucht werden soll, in erreichbarer Nähe zweckmäſsig geordnet ist, so kann ein hinter der V-P Stehender im rechten Moment völlig geräuschlos alles ausführen, was auszuführen ist, und nur auf diese Weise ist es möglich, die notwendige Variation der Versuche zu erzielen. Apparate lassen sich vielleicht mit Vorteil benutzen, wenn man nur auf einem einzelnen Sinnesgebiete die Verhältnisse untersucht, eine derartige Begrenzung scheint mir aber prinzipiell unrichtig. Denn läſst man die einzelnen Reize gar zu geschwind aufeinander folgen, so wird die V-P abgestumpft, da es fortwährend derselbe Sinn ist, der gereizt wird, und macht man längere Pausen, so wird sie entweder auf andere Gedanken kommen oder einschlafen. In keinem dieser Fälle wird der Versuch rein: man sieht nicht die Wirkung auf einen normalen Menschen in vollständigem Gleichgewicht des Gemüts, sondern im Gegenteil Reaktionen eines ermüdeten, halb schlafenden oder von ganz andern Gemütszuständen in Anspruch genommenen Individuums. Ich bediente mich stets des Verfahrens, daſs nach dem einzelnen Versuch die Pause nicht länger gemacht wurde, als nötig war, um den ursprünglichen Normalzustand in den Kurven erscheinen

Digitized by Google

zu lassen; darauf ging ich sogleich weiter, zwar aber mit einem Versuch ganz anderer Art. Hierdurch sind viele Vorteile zu erreichen: es lassen sich während kurzer Zeit eine grofse Anzahl Experimente anstellen, die V-P wird in Atem gehalten und erhält keine Gelegenheit, sich ihren eigenen Gedanken zu überlassen, und jeder neue Versuch wird dennoch fast gar nicht von den vorhergehenden beeinflufst.

Es ist schwer, die Frage im allgemeinen zu beantworten, ob die V-P vorher erfahren darf, wann der Reiz kommt, und welcher Art derselbe ist, von denjenigen Fällen natürlich abgesehen, wo das Experiment geradezu erheischt, dafs sie nichts erfährt. Hat man mit routinierten Versuchspersonen zu thun, die sich sowohl in physischer, als in psychischer Beziehung ruhig zu verhalten vermögen, so ist eine Anzeige überflüssig und zunächst nachteilig, da sie nur zur verfrühten Konzentration der Aufmerksamkeit dient. Anders stellt sich die Sache, wenn man mit einer erwartungsvollen oder sogar ängstlichen V-P operiert. Versuche unter diesen Umständen können sehr interessant sein und haben insofern ihre Berechtigung, als sie zeigen, wie die Reize unter bestimmten, im voraus gegebenen Gemütsbewegungen wirken. Hierdurch vermag man bei späteren Gelegenheiten aus den Kurven zu diagnostizieren, ob eine V-P wirklich in normalem Gleichgewicht des Gemüts ist oder nicht. Natürlich erhält man keine normalen Reaktionen von einem in starker Spannung oder in Furcht befindlichen Individuum, und es kommt dann wesentlich auf die Routine und Konduite des Experimentators an, ob die Hebung des störenden Affekts gelingt. Hier erwies es sich oft als praktisch, vorher anzuzeigen, was geschehen würde, eine Reihe ausschliefslich angenehmer Reize zu gebrauchen, um die V-P in gute Laune zu setzen, die Sache gemütlich zu nehmen u. s. w. Allgemeine Regeln sind, wie gesagt, schwer zu geben, es bleibt doch immer die Person des Experimentators, die den Ausschlag gibt; einige Beispiele der von mir angewandten Methoden werden im folgenden gelegentlich erwähnt werden. Es ist nun aber auch leicht einzusehen, dafs derjenige, der ausschliefslich auf einem bestimmten Sinnesgebiete operiert, sich selbst einer Menge

Digitized by Google

Mittel — sowohl zum Diagnostizieren, als zur Beseitigung störender Affekte — beraubt, deren Anwendung unter gegebenen Umständen erwünscht sein könnte. Auch aus diesem Grunde scheinen dergleichen Spezialuntersuchungen mir unrichtig. Denn es läfst sich nicht vermeiden, dafs unter einer gröfseren Anzahl Versuchspersonen einige gefunden werden, die sich durch die ganze Situation affizieren lassen und deshalb auf die einzelnen Reize durchaus anormal reagieren. Ist der Experimentator nun nicht im stande zu entdecken, dafs diese Individuen befangen sind, so mufs er ihre Reaktionen für ebensowohl normal halten, als die aller der übrigen, was denn zur Folge hat, dafs sich in den Resultaten nicht die geringste Gesetzmäfsigkeit nachweisen läfst. Mehrere grofse Spezialarbeiten sind aus diesem Grunde ganz wertlos. Vermag dagegen der Experimentator den Affekt zu diagnostizieren, und besitzt er Geduld genug, um dessen Beseitigung zu erwirken, so wird er schliefslich seine Ausdauer belohnt sehen, indem das Individuum ebenso reagiert wie die übrigen Versuchspersonen. An Beweisen von der Richtigkeit hiervon wird es im folgenden nicht fehlen.

Um den Moment zu registrieren, da ein Reiz stattfand, bediente ich mich eines besonderen Schreibtambours, der mittels eines Gummischlauches mit einer sehr kleinen Gummibirne in Verbindung gesetzt war. Ein Druck auf letztere bewirkte, dafs der Schreibhebel in Bewegung gesetzt wurde, sonst zeichnete er eine gerade Linie, wodurch man also zugleich eine feste Nulllinie für die Volumenkurve erzielte. Die Momente der Reizung wurden gewöhnlich vom Experimentator registriert, der diese Zeichen leicht absetzen kann, während er selbst oder der Assistent den Reiz anbringt. In gewissen Fällen, wo es galt, den Zeitpunkt zu markieren, da gewisse psychische Momente eintraten, hatte die V-P selbst die kleine Gummibirne in der Hand. Da nur ein äufserst geringer Druck erforderlich war, um den Schreibhebel in Bewegung zu setzen, konnte die unbedeutende Arbeit, welche die V-P hierbei auszuführen hatte, auf den normalen Verlauf des Versuches wohl schwerlich von Einflufs sein; nachweisbar ist eine solche Störung jedenfalls an keinem Orte.

Wurden Sphygmogramme und Plethysmogramme gleichzeitig aufgenommen, so war dieses Verfahren jedoch nicht zu gebrauchen, da die V-P keine Hand zur Verfügung hatte; in diesen Fällen markierte sie jedes Moment von Bedeutung durch ein Hm!, und auf dieses Signal machte der Experimentator ein Zeichen auf den Cylinder. Dieselbe Methode wurde allgemeiner Verabredung gemäſs ebenfalls angewandt, wenn zufällige Störungen auf den Gemütszustand der V-P influierten. Nach Beendigung jedes Versuches wurde darauf protokolliert, was alle diese Zeichen zu bedeuten hatten, wie denn auch die V-P über ihren ganzen Gemütszustand während des Versuchs Rechenschaft ablegen muſste. Ohne fortwährende Kontrolle von seiten der Selbstbeobachtung werden dergleichen Versuche durchaus sinnlos; es hat deswegen auch keinen Zweck, Versuchspersonen zu benutzen, die nicht in der Selbstbeobachtung geübt sind.

DIE BEARBEITUNG UND REPRODUKTION DES MATERIALS.

Die Bearbeitung des Materials. Da quantitative Bestimmungen nicht bezweckt und der Konstruktion der Apparate zufolge ohnehin ausgeschlossen waren, läſst sich das vorliegende Material unmittelbar verwerten. Das Steigen und Fallen des Volumens, die Vermehrung und Verminderung der Pulshöhen und der Atmung lassen sich ohne künstliche Hilfsmittel direkt aus den Kurven ersehen. Etwas anders stellt sich die Sache indes rücksichtlich der Pulslängen. Extreme Unterschiede der Pulslängen sind freilich ebenfalls mit bloſsem Auge zu sehen, es ist jedoch selten, daſs die Unterschiede so groſs sind. Meistens wird es notwendig sein, eine Messung der Länge anzustellen, um zu konstatieren, inwiefern die Geschwindigkeit des Herzschlages eine Veränderung erlitten hat. In den Sphygmogrammen ist diese Messung

Digitized by Google

leicht zu unternehmen, weil die Pulse hier annähernd auf einer geraden Linie stehen, längs welcher der Mafsstab sich anlegen läfst. Bei den Plethysmogrammen tritt die Schwierigkeit ein, dafs die Richtung der Kurve unausgesetzt variiert, während die Messung senkrecht auf die Erzeugenden des Cylinders geschehen mufs; mit andern Worten: die horizontale Projektion der Pulslänge mufs bestimmt werden. Dessenungeachtet zog ich es dennoch durchweg vor, die Pulslänge auf den Plethysmogrammen zu bestimmen, weil man aus diesen Kurven am leichtesten einen Überblick über die Pulsverhältnisse erhält. Mifst man nämlich eine Reihe von Plethysmogrammen, so wird man finden, dafs eine Volumveränderung fast stets mit einer Veränderung der Pulslänge zusammentrifft, und aufserdem, dafs die Pulslänge, solange das Volumen konstant bleibt oder nur wenig zu- oder abnimmt, während dieser Phasen ebenfalls nur sehr wenig variiert. Dies heifst mit andern Worten, dafs man im Plethysmogramme die Pulse in natürliche Gruppen eingeteilt sieht, wo die zur einzelnen Gruppe gehörenden Pulse so ziemlich dieselbe Länge besitzen. Hierdurch wird die Messung offenbar in hohem Grade erleichtert, indem man gewöhnlich nur die Totallänge jeder einzelnen Gruppe zu messen und durch Division mit der Anzahl der Pulsschläge deren Durchschnittslänge zu berechnen braucht; diese wird dann der Länge jedes einzelnen Pulses der Gruppe fast genau entsprechen. Hält man sich dagegen an die Sphygmogramme, so kann man nicht umhin, jeden einzelnen Puls für sich zu messen und dann auf Grundlage der gefundenen Zahlen natürliche Gruppen zu bilden, um die Gesetzmäfsigkeit der Variationen nachzuweisen. Diese Methode ist jedoch weit mehr zeitraubend und erweist sich erfahrungsgemäfs weniger zuverlässig als erstere, weshalb ich mich selbstredend ausschliefslich an die Plethysmogramme hielt.

Die Messung der Plethysmogramme bietet nun in der That keine Schwierigkeiten dar, wenn man nur, wie es bei diesen Versuchen der Fall war, auf den Kurventafeln eine feste horizontale Linie hat, auf welche sich die Pulse projizieren lassen. Die Projektion selbst kann auf verschiedene Weise ausgeführt werden. Ent-

Digitized by Google

weder kann man mit Hilfe des Lineals und des Dreiecks durch die Endpunkte der betreffenden Pulse auf die Kurventafeln senkrechte Linien zeichnen und die Entfernung dieser Senkrechten voneinander messen. Oder auch kann man einen in Glas geätzten Millimetermafsstab mit sehr langen Teilstrichen benutzen, durch deren eines Ende eine Gerade gelegt ist, die auf allen Teilstrichen winkelrecht steht. Wird diese Gerade längs der festen Horizontallinie der Tafeln gelegt, so bilden die Teilstriche des Mafsstabs Projektionslinien, und man ist im stande, sofort den Abstand zwischen je zwei beliebigen Punkten in Millimetern abzulesen, während man die Zehntelteile abschätzt. Dieser Methode habe ich mich bedient, da sie sich ebenso sicher erwies als das weitläufigere Zeichnen von Projektionslinien auf die Tafeln.

An den solchergestalt gemessenen Längen ist indes noch der Fehler zu korrigieren, der dadurch entsteht, dafs der Schreibhebel in einem Bogen schwingt (siehe S. 23, vgl. Tab. I, C). Bei konstanter Länge des Schreibhebels ist der Fehler konstant und läfst sich ein für allemal messen. Hierzu dient die Konstruktion Tab. I, C. In der Entfernung von 1 cm über oder unter der wagerechten Stellung des Schreibhebels erweist sich der Fehler als noch unmerkbar; 2 cm über oder unter dieser Stellung ist der Fehler 1 mm; 3 cm über oder unter 2.2 mm; gröfsere Schwankungen kommen in den Tafeln nicht vor. Die Fehlergröfsen müssen, wie die Figur zeigt, von den direkt gemessenen Längen abgezogen werden, und aus den so korrigierten Werten berechnet man dann durch Division mit der Anzahl der Pulse deren Durchschnittslänge. Ist diese Anzahl nur einigermafsen grofs und das Steigen oder Sinken der Kurve ein geringes, so kann man sich ja die Korrektur ersparen, da der Fehler der berechneten Durchschnittslänge unmerkbar wird. Auf gröfsere Genauigkeit der Resultate als 0,1 mm darf man nämlich, wie oben gezeigt, wegen des weniger regelmäfsigen Ganges des Kymographen keine Rechnung machen.

Im folgenden ist die Geschwindigkeit des Herzschlags überall durch die gemessenen Pulslängen angegeben. Da die Umdrehungsgeschwindigkeit des

Digitized by Google

Cylinders bekannt ist, läfst sich hieraus leicht berechnen, wie viele Pulse pro Minute jeder Pulslänge entsprechen. Untenstehende Tabelle gibt eine Übersicht hierüber:

mm Pulslänge	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Anzahl pro Min.	120	103	90	80	72	65	60	55	51	48

Die Reproduktion des Materials. Bei der Reproduktion der Tafeln wäre es gewifs in allen Beziehungen wünschenswert gewesen, dafs es sich hätte thun lassen, nach den Originaltafeln photographische Negative aufzunehmen und diese zur Ätzung direkt auf Zink zu kopieren. Dies erwies sich indes als unmöglich. Da ich es prinzipiell für am besten halte, mit derselben V-P nicht mehrere gleichartige Versuche nacheinander anzustellen, und mich deswegen immer bestrebte, in das Werk des einzelnen Tages möglichst grofse Variation zu bringen, so folgt hieraus, dafs diejenigen Kurven, welche von gleichartigen Versuchen herrühren und zusammengestellt werden sollen, in den Originaltafeln umher zerstreut zu finden sind. Wollte man nun in den reproduzierten Tafeln eine solche chaotische Verwirrung nicht beibehalten, die den Gebrauch der Tafeln notwendigerweise äufserst schwierig machen müfste, so war dies nur dadurch zu vermeiden, dafs man die Kurven Strecke für Strecke photographierte, und aus allen diesen kleinen Negativen mufste man dann auf beste Weise gröfsere Tafeln zusammenstellen. Dieses Verfahren wäre äufserst weitläufig und kostspielig geworden; hätte es sich aber durchführen lassen, so wäre dies geschehen. Es zeigte sich indes, dafs grofse Teile der Tafeln und häufig gerade die besten Kurvenstrecken so leicht berufst waren, dafs sich keine photographischen Negative danach aufnehmen liefsen. Jedenfalls hätten diese Negative einer sehr eingreifenden Retouche unterworfen werden müssen, wodurch alle die Fehler, die man durch Benutzung der Photographie vermeiden wollte, wieder zum Vorschein gekommen wären.

Da photographische Genauigkeit also doch nicht zu erzielen war, zog ich es vor, die zur Zinkätzung notwendigen Negative mittels Kalkierung der Kurven auf

Digitized by Google

Gelatineplatten herzustellen. Spannt man eine dünne und klare Gelatineplatte über die Kurventafeln aus, so kann man mittels einer stählernen Nadel von geeigneter Form die Kurven leicht in die Gelatine gravieren und zwar mit solcher Genauigkeit, dafs die Abweichung der Kopie vom Original sich nur unter der Lupe erblicken läfst. Bei diesem Verfahren ist man vollständig Herr darüber, welche Kurven die einzelne Tafel enthalten wird, und zugleich erreicht man eine viel mehr ökonomische Anwendung des Raumes, was wegen der Kostspieligkeit der Zinkätzung nicht ganz ohne Bedeutung ist. Endlich kann man den Fehler korrigieren, der davon herrührt, dafs die Spitzen der Schreibhebel ursprünglich nicht in einer geraden Linie übereinander lagen. Während der Versuche ist eine mathematisch genaue Einstellung nach der Schnur fast unmöglich, und es liegt auch kein Grund vor, grofse Sorgfalt an die Herstellung einer solchen zu wenden, da man aus den Tafeln stets zu sehen vermag, wieviel die eine Spitze vor jeder der andern voran oder hinter ihr zurück gewesen ist. Diese Abweichung ist nur dann zu korrigieren, wenn man die korrespondierenden Punkte der zusammengehörenden Kurven sucht. Beim Gravieren ist es nun sehr leicht, eine solche Verschiebung der Kurven in ihrem gegenseitigen Verhältnisse auszuführen, dafs die korrespondierenden Punkte an der Ausgangsstellung der Schreibhebel in die nämliche senkrechte Linie fallen, und dies ist überall geschehen.

Die gravierten Gelatineplatten werden durch Einreiben mit Ölfarbe in photographische Negative verwandelt. Hierzu gebrauchte ich eine Mischung von fast gleich vielen Raumteilen Elfenbeinschwarz und Zinnober. Die Farbe setzt sich in allen eingeritzten Strichen ab, und das Überflüssige wird durch sanftes Abtrocknen mit einem weichen seidenen Lappen von dem übrigen Teil der Platte entfernt. Hierauf wird die Platte mit trockenem, sehr fein pulverisiertem Zinnober leicht eingerieben, einige Stunden lang zum Trocknen hingelegt und läfst sich dann durch Abreiben mit weichen Lappen vollständig reinigen. Alle eingeritzten Linien stehen nun dunkel schokoladebraun auf völlig klarem Grunde, und diese farbigen Linien sind dem

Digitized by Google

Lichte mehr undurchdringlich als irgend eine auf photographischem Wege hervorgerufene Zeichnung; sie eignen sich deshalb vorzüglich zur Anwendung als photographische Negative, da ein Überexponieren beim späteren Kopieren fast unmöglich ist. Da die Zeichnung, von der Seite des Bildes gesehen, positiv dasteht wie die Originale, bedürfen die gravierten Negative keines Übertragungspapiers als Mittelglied, sondern können direkt auf Zinkplatten kopiert werden. Diese Übertragung ist mit Hilfe der sogenannten kalten Emaillemethode geschehen, die sehr leicht auszuführen ist, aufserordentlich scharfe Linien gibt und eine sehr starke Ätzung ohne Verstärkung des lichtempfindlichen Häutchens gestattet.

Da die Genauigkeit der reproduzierten Tafeln und deren Übereinstimmung mit den Originalen dem Angeführten zufolge ausschliefslich auf der Gewissenhaftigkeit beruhen, mit welcher die Gelatineplatten graviert werden, habe ich diese Arbeit persönlich ausgeführt. Ich kann deshalb verbürgen, dafs bedeutende Fehler in den Reproduktionen nicht vorkommen. Natürlich ist es nicht zu vermeiden, dafs man dann und wann eine falsche Linie zieht; da dergleichen Fehlzeichnungen sich aber leicht vor dem Ätzen von den Zinktafeln wegretouchieren lassen, werden sie jedenfalls nur da vorkommen, wo man die Retouche zu unternehmen vergessen hat. Schliefslich mufs ich hinzufügen, dafs das gebrauchte Verfahren an sich einen Fehler herbeiführt, der jedoch ebenso unbedeutend wie unvermeidlich ist. Die Gelatineplatten sind nämlich sehr hygroskopisch; sie dehnen sich bei feuchtem Wetter aus und ziehen sich zusammen, wenn die Luft sehr trocken ist. Werden sie also nicht unter eben denselben Feuchtigkeitsverhältnissen, unter welchen sie gezeichnet sind, auf Zink kopiert, so wird die Gröfse der ganzen Tafel nicht absolut genau werden. Um die Gröfse dieses Fehlers zu bestimmen, habe ich zu wiederholten Malen die Tafeln bei sehr trockenem und sehr feuchtem Wetter gemessen; der gröfste beobachtete Unterschied beträgt indes nur 1 mm auf 300 mm und ist als unwesentlich zu betrachten, da die Tafeln aus anderen Gründen keine gröfsere Genauigkeit als 0,1 mm geben.

Die Ordnung der Kurven. Bevor wir nun zur Betrachtung der Versuchsresultate schreiten, werden einige allgemeine Bemerkungen über die Ordnung der Kurven auf den Tafeln am Platze sein. Alle Kurven sind von links nach rechts zu lesen. In jeder Reihe zusammengehörender Kurven steht die Respirationskurve zu oberst, das Plethysmogramm zu unterst, zwischen beiden das Sphygmogramm, das indes nur selten mitgenommen ist. Der innere Abstand zwischen den Kurven ist nur durch Rücksicht auf den Raum bestimmt und folglich ohne Bedeutung. Als relative Nulllinie des Plethysmogramms dient die wagerechte Linie, welche die einzelnen Kurvenreihen trennt. Dies ist nicht unwesentlich in den ziemlich zahlreichen Fällen, wo die Kurven in mehreren aufeinander folgenden Reihen fortgesetzt werden. Ist die untere Reihe eine unmittelbare Fortsetzung der oberen, so mufs also der Abstand des Plethysmogrammes von der Nulllinie zu Anfang der unteren Reihe genau derselbe sein wie am Schlusse der vorhergehenden. Und ist zwischen den beiden Reihen eine gewisse Zeit verstrichen, wird man also aus der Lage der Plethysmogramme zur Nulllinie in den beiden Reihen ersehen können, in welcher Richtung das Volumen sich während der zwischenliegenden Zeit verändert hat. Die Nulllinie hat indes nicht immer ihre richtige Lage; bei dem Übergang aus einer Kurvenreihe in die folgende ist sie nicht selten verschoben worden, entweder gehoben — um eine grofse leere Fläche zu vermeiden, oder gesenkt — um zu verhindern, dafs das Plethysmogramm unter die Nulllinie ging. Überall aber, wo eine Verschiebung stattgefunden hat, ist deren Gröfse nebst Vorzeichen auf der Nulllinie links angegeben. So bezeichnet + 9 (siehe Tab. II, B), dafs die Nulllinie 9 mm gehoben worden ist; wäre also die Nulllinie der Tab. II, A mit unveränderter Lage zum Plethysmogramm in der Reihe B fortgesetzt worden, so hätte sie 9 mm tiefer liegen müssen. Aus dieser Angabe sieht man also, in welcher Richtung das Volumen während der 3 zwischen Ende A und Anfang B verflossenen Minuten Schwankungen erlitten hat (siehe hierüber unten). Analog bezeichnet — 2 auf der

Nulllinie Tab. IV, D, dafs die Linie hier um 2 mm gesenkt worden ist.

In betreff der einzelnen Kurven ist noch folgendes zu bemerken. In der Respirationskurve ist die Inspiration durch ein Steigen, die Exspiration durch ein Sinken wiedergegeben. In den Plethysmogrammen, wo die Pulslängen gemessen sind, wurden am Gipfel derjenigen Pulsschläge, mit welchen eine neue Phase beginnt, kleine Buchstaben angebracht (siehe z. B. Tab. II, C). Messungen sind überall rücksichtlich der Gruppen a—b, b—c u. s. w. unternommen, und die für jede dieser Gruppen angegebenen Zahlenwerte bezeichnen die Durchschnittslänge der Pulse innerhalb jeder Gruppe. Selbstverständlich sind die Gruppen vom Anfang des Pulses a bis zum Anfang des Pulses b u. s. w. gemessen, nicht aber zwischen den Gipfeln, wo die Buchstaben stehen, weil sie hier mehr in die Augen fallen. — Endlich finden sich auf der Nulllinie Zeichen (siehe z. B. Tab. IV, A und B), welche die charakteristischen Momente, den Anfang oder das Aufhören eines Reizes u. dgl. angeben. Ein Hinweis im Texte auf einen solchen Punkt wird durch das Zeichen ⊾ geschehen; kommen auf einer Nulllinie mehrere Zeichen vor, so sind sie durch fortlaufende Zahlen angegeben (z. B. Tab. VI, A), und der Hinweis im Texte geschieht dann durch ⊾1, ⊾2 u. s. w.

Es trifft während der Versuche natürlich häufig ein, dafs eine Zone des Cylinders oder sogar der ganze Cylinder ausgeschrieben ist, bevor das einzelne Experiment beendigt wird. In diesem Falle mufs der Cylinder umgestellt oder ein neuer eingesetzt werden, weshalb in den Aufzeichnungen unvermeidlich eine kürzere oder längere Stockung eintritt. Wo zwei durch eine solche Stockung getrennte Kurvenstrecken auf den Tafeln in eine einzelne Reihe zusammengestellt sind, wurden sie durch eine senkrechte Linie geschieden, auf welcher die Dauer der Stockung angegeben ist (siehe z. B. Tab. III, A).

Digitized by Google

DER NORMALZUSTAND.

In einem Plethysmogramm, an einem Menschen genommen, der wenigstens dem Anschein nach sowohl in psychischer als in physischer Beziehung völlig ruhig ist, wird man häufig — jedoch keineswegs immer — Volumschwankungen erblicken, denen sich eine äufsere Ursache überhaupt nicht nachweisen läfst. Mosso[1] hat es versucht, aus der Form dieser Oszillationen und Undulationen deren physiologische Ursachen, Veränderungen der Geschwindigkeit des Herzschlags, Kontraktionen und Dilatationen der Gefäfse, zu bestimmen, gibt übrigens aber zu, dafs eine solche Bestimmung nicht in allen Fällen möglich sei. Mit Bezug auf die folgenden Versuche ist es offenbar von gröfster Bedeutung, dafs wir vor allen Dingen die Erklärung dieser spontanen Volumveränderungen finden, weil es sonst schwer oder geradezu unmöglich zu entscheiden sein kann, ob eine gegebene Volumveränderung durch den angewandten äufseren Reiz verursacht wird oder möglicherweise spontan ist, so dafs sie entstanden sein würde, auch wenn der Reiz gar nicht stattgefunden hätte. Diese Schwierigkeit ist von verschiedenen Forschern gefühlt worden und hat grofse Irrtümer veranlafst[2]. Bei der Untersuchung der Undulationen — so können wir alle scheinbar spontanen Volumveränderungen mit einem einzigen Namen bezeichnen — sind wir doch etwas günstiger gestellt als Mosso. Für uns handelt es sich nämlich nicht um den Nachweis der schwer zugänglichen physiologischen Ursachen, sondern nur um die Bestimmung der allgemeinen Bedingungen, unter welchen Undulationen überhaupt entstehen. Sie kommen, wie gesagt, keineswegs stets bei einem normalen ruhigen Menschen vor; es mufs also möglich sein, die ihr Auftreten bedingenden Umstände zu finden. Und kennen wir erst diese, so haben wir alles, was erforderlich ist, um zu entscheiden, ob eine gegebene Volumver-

[1] Mosso, Über den Kreislauf des Blutes. Leipzig 1881. S. 104 u. f.
[2] Shields: The effect of odours etc. upon the blood flow. Baltimore 1896. S. 15.

änderung spontan ist oder nicht. Um diese Verhältnisse zu erhellen, beginnen wir also damit, eine Reihe unter verschiedenen Umständen genommener Normalkurven durchzugehen.

Tab. II, A. 3/10 95 ab. Ly.[1] normal, anscheinend ruhig.

Es zeigt sich hier eine eigentümliche Form von Undulationen mit jähen Senkungen und sanften Steigungen. Diese Undulationen sind denjenigen Volumveränderungen auffallend ähnlich, welche während Denkthätigkeit irgend einer Art eintreten. Man könnte deshalb zu dem Glauben versucht werden, die V-P sei nicht völlig »gedankenleer« gewesen, sondern habe unwissentlich irgend einen Gedanken verfolgt. Sicher ist es, dafs Undulationen dieser Art niemals unter Verhältnissen auftreten, wo Denkarbeit ausgeschlossen ist, z. B. nicht während einer Hypnose.

Tab. II, B. 3/10 95 ab. Ly. 3 Min. später als A genommen; die V-P war inzwischen hypnotisiert worden und befand sich nun in sehr leichter Hypnose.

Hier sind die jähen Schwankungen fast gänzlich weggefallen. — An einem und demselben Individuum kann man indes auch eine ganz andere Undulationsform erblicken, mit Senkungen, die ebenso sanft sind wie die hinterherfolgenden Steigungen; so z. B.:

Tab. II, C. 17/10 95 ab. Ly. normal, anscheinend ruhig.

Dafs die V-P doch auch hier sich nicht in völliger psychischer Ruhe befand, ist zweifellos, und der Beweis wurde während des nämlichen Versuches geführt. Die Kurve ist, kurz bevor die V-P hypnotisiert wurde, genommen; während der Hypnose wurden verschiedene Versuche angestellt, und die V-P erhielt den Befehl, sich nach dem Erwachen wohl zu befinden und sich völlig ruhig zu verhalten, namentlich an durchaus

---

[1] Bei jeder Kurvenreihe wird aufser dem Datum und der Jahreszahl zugleich die Tageszeit angegeben, nämlich vorm. vor 12 Uhr mittags; nachm. zwischen 12 und 4 und ab. nach 6 Uhr. Hierdurch ist das Verhältnis zu den beiden Hauptmahlzeiten des Tages, die erfahrungsgemäfs stark auf die Pulshöhe etc. influieren, hinlänglich bestimmt. Nach der Zeit ist der Name der Versuchsperson angegeben, nur durch ein paar einzelne Buchstaben (Ly., Kl., P. L. u. s. w.).

nichts zu denken. Unmittelbar nach dem Erwachen wurde nun genommen:

Tab. II, D. $^{17}/_{10}$ 95 ab. Ly. ungefähr 10 Min. später als C.

Nur eben gegen Schlufs ist hier eine kleine Schwankung der Kurve zu sehen, sonst sind alle Undulationen auf ein Minimum reduziert, wie es nach der gegebenen Suggestion zu erwarten stand. Es ist indes nicht notwendig, so kräftige Mittel wie eine posthypnotische Suggestion zu ergreifen, um völlige Ruhe zu schaffen; bei vielen Individuen tritt diese von selbst ein, bei Ly. ist sie allerdings aber selten und erscheint nur unter aufsergewöhnlichen Verhältnissen. Ein Beispiel hiervon geben uns die beiden folgenden Kurvenreihen.

Tab. III, A u. B. $^{26}/_{9}$ 95 ab. Ly. normal nach einigen leichten Rechenaufgaben. Bei | war eine Zone des Cylinders ausgeschrieben; die V-P machte die Bemerkung, ihr sei schläfrig, worauf geantwortet wurde: »Nun, so schlafen Sie.« Gleich darauf wurde der Cylinder in Gang gesetzt; der Schlufs von A zeigt die aufgenommene Kurve, die sich Tab. III, B unmittelbar fortsetzt. Zum Schlafen kam es nicht, die V-P ist nur ruhiger geworden, was der Vergleich von Anfang A mit Anfang B deutlich zeigt. Aufserdem wird sowohl der Herzschlag als das Atmen langsamer. Die Messung ergibt:

Phase . . .	a-b	c-d	d-e	e-f
Pulslänge .	5,2	5,7	5,5	4,8
Atmung . .	15,4	16,5	16,0	14,5

Ungefähr bei e begann eine Spieldose zu schnurren, was gewifs die Ursache der hier erscheinenden Volumveränderung ist, bei ⊓ fing sie zu spielen an. Von diesem Umstand sehen wir hier ab; vorläufig hat die Kurve nur Interesse, weil sie relative Ruhe anzeigt, wo die früheren Undulationen fehlen. Dagegen treten hier schwache Respirationsoszillationen hervor; die Kurve hat bei jeder Respirationspause ein relatives Maximum und ein Minimum am Schlusse der Inspiration. Während eine solche undulationslose Kurve bei Ly. zu den Ausnahmen gehört, ist sie bei anderen sehr allgemein; so z. B.:

Digitized by Google

Tab. III, C. 17/5 95 nachm. Dr. N. normal, ruhig.
Hier sind nur schwache Andeutungen sanfter Undulationen. Etwas mehr hervortretend zeigen diese sich:

Tab. III, D. 3/10 95 ab. Dr. N. Normalkurve nach verschiedenen Versuchen.

Gegen Ende tritt hier zugleich eine der jähen Schwankungen auf. Wie leicht und schnell das Plethysmogramm von allen Undulationen befreit werden kann, sogar nach einem gewaltigen und eingreifenden Reize, ist aus den vier folgenden Kurvenreihen zu ersehen.

Tab. IV, A—D. 17/5 95 nachm. Dr. N. Bei ↖ in A begann das Einatmen von Stickstoffoxydul, das bis ↖ in B fortgesetzt wurde; B ist die unmittelbare Fortsetzung von A. Das Einatmen von dieser Dauer genügte, um während weniger Sekunden bei der V-P vollständige Analgesie zu erzeugen. Während des Einatmens sieht man sehr tiefe Atemzüge, die im Plethysmogramme stark markierte Respirationsoszillationen hervorrufen. Zu bemerken ist indes, dafs der Arm hier nicht völlig fest lag, so dafs er sich im Plethysmographen hin und her schob; dies ist wahrscheinlich die Ursache, weshalb die Respirationsoszillationen hier ihr Maximum beim Inspirationsmaximum und nicht, wie sonst, bei der Respirationspause haben. – Zwischen B und C sind nur 5 Sek. verflossen, indem der Cylinder hier umgestellt werden mufste; D ist die Fortsetzung von C nach Verlauf von ungefähr 1 Min.

Dieser ganze Versuch zeigt uns erstens, dafs die Respirationsoszillationen nur bei sehr tiefen Atemzügen auftreten, und ferner sieht man, dafs die Kurve schon ein paar Minuten nach einem ziemlich eingreifenden, physische und psychische Veränderungen erzeugenden Reize völlig undulationslos ist. Aus den angeführten Beispielen geht also hervor, dafs in einem Plethysmogramm, das an einer V-P in anscheinend physischer und psychischer Ruhe genommen ist, wenigstens drei verschiedene Formen von Undulationen auftreten können, nämlich 1) mit der Respiration synchrone Oszillationen, 2) sanfte und 3) jähe Undulationen, die in keiner Beziehung zur Respiration stehen. Wir werden nun im folgenden zu erläutern suchen, wann diese ver-

Digitized by Google

schiedenen Formen von Schwankungen entstehen, und machen den Anfang mit den Respirationsoszillationen, deren physiologische Ursache nicht zweifelhaft sein kann.

Die Respirationsoszillationen. Diese lassen sich systematisch untersuchen, indem die V-P die Tiefe und Dauer des Atemholens willkürlich zu variieren vermag, wodurch sich allenfalls die Abhängigkeit von der Form des Atmens feststellen läfst. Versuche dieser Art habe ich öfters angestellt; um mich davor zu sichern, dafs die Oszillationen durch unwillkürliche Bewegungen des Arms verstärkt oder verdeckt würden, wurde dieser vor dem Versuche im Plethysmographen so fest gespannt, dafs die V-P nicht einmal mit der gröfsten Anstrengung im stande war, irgend eine willkürliche Bewegung mit dem Arm auszuführen. Individuelle Eigentümlichkeiten der Respirationsoszillationen habe ich nicht bemerkt; ich beschränke mich deshalb auf die Wiedergabe einer einzelnen Versuchsreihe.

Tab. V, A—C. 1/10 96 nachm. P. L. Der Einflufs willkürlicher Variationen des Atmens auf das Armvolumen.

A zeigt vier aufeinanderfolgende sehr tiefe und lange Respirationen, welche deutliche Oszillationen des Volumens erzeugen. Vom Anfang der Exspiration an sinkt das Volumen mit sehr langen und hohen Pulsen; dieses Sinken dauert bis ungefähr zur Mitte der Inspiration, wo das Volumen wieder mit einer Reihe geschwinder und niedriger Pulse steigt. Die Steigung erreicht ihren Gipfel gegen Ende der Inspiration, worauf das Sinken seinen Anfang nimmt. Dies gilt doch nur von sehr langsamen Respirationsbewegungen; sowohl zu Anfang als am Ende der Reihe A kommt ein kürzerer Atemzug von ungefähr normaler Dauer vor, dessen entsprechende Oszillationen eine andere Form haben, welche häufiger unter normalen Verhältnissen bemerkt wird. Hier trifft die Senkung mit der Inspiration, die Steigung mit der Exspiration zusammen, so dafs die beiden Kurven in entgegengesetzten Richtungen schwingen. Der Anfang der Reihe B, die eine unmittelbare Fortsetzung von A ist, zeigt dasselbe

Digitized by Google

Verhalten, wenn auch weniger ausgeprägt. Bei den darauffolgenden, forciert geschwinden und oberflächlichen Respirationen fallen alle Oszillationen weg; dies findet seinen Grund natürlich darin, dafs auf jeden Atemzug wohl kaum mehr als ein oder zwei Pulse kommen. Das Ende von B zeigt einen langen und tiefen Atemzug mit Stillstand während der Inspiration; hier hat die Oszillation die nämliche Form, wenngleich weniger entschieden, wie während der langen Respirationen in der Reihe A. Endlich zeigt die Reihe C aufser einigen normalen Respirationen verschiedenen Umfangs einen längeren Stillstand während der Exspirationspause. Hier sinkt das Volumen fortwährend, erst stark, später schwach, und steigt nicht eher wieder als während der folgenden Inspiration.

Der Versuch gibt uns offenbar die Lehre, dafs die Oszillationen um so entschiedener werden, je langsamer und tiefer die Respiration ist; bei geschwinden und oberflächlichen Atemzügen, während deren das Herz nur einige einzelne Kontraktionen ausführt, werden die Oszillationen gewöhnlich wegfallen. Beobachtungen an anderen Individuen bestätigen diese Regel.

Tab. V, D. $^{29}/_{9}$ 96 vorm. A. L. normal, ruhig.

Diese Kurve, die für die betreffende V-P in völliger Ruhe typisch ist, zeigt kaum eine Spur von Oszillationen, hier fallen aber auch nicht mehr als durchschnittlich 3 Pulsschläge auf jeden Atemzug. Wird dagegen aus irgend einem Grunde der Puls geschwinder, so werden auch die Oszillationen zu erscheinen beginnen, selbst wenn die Atmung nicht langsamer wird. Dies zeigt sich entschieden:

Tab. V, E. $^{1}/_{10}$ 96 nachm. A. L. spontan eintretende psychische Unruhe.

Hier ist es sicherlich nicht der Umstand allein, dafs der Puls geschwinder wird, der die Respirationsoszillationen erzeugt. Später werde ich nachweisen, dafs gewisse Stimmungen und Affekte stets durch das Auftreten der Oszillationen charakterisiert sind; dafs sie sich hier in der Kurve V, E zeigen, rührt deshalb wahrscheinlich von den durch die Stimmung verursachten, mehr eingreifenden organischen Veränderungen her.

Digitized by Google

Aufser der Tiefe und Dauer des Atmens und der Geschwindigkeit des Pulses gibt es indes noch andere Faktoren, die auf das Erscheinen der Oszillationen influieren können. Hierzu gehört in erster Linie wahrscheinlich der Zustand der Gefäfse. Wenn man Wärme oder Kälte auf den Organismus wirken läfst, so vermag man in grofsem Umfang die Spannung der Gefäfse und somit die Höhe der Pulse im Plethysmogramm zu verändern; es zeigt sich, dafs auch die Gröfse der Oszillationen hiermit variiert. Zur Erhellung dieser Verhältnisse gebe ich ein paar ausführliche Versuchsreihen wieder. Die Versuche wurden dergestalt ausgeführt, dafs die V-P den Fufs in einem weiten Stiefel von Metallblech mit hölzernem Boden anbrachte. In diesen Stiefel konnte man von oben Wasser von verschiedener Temperatur giefsen; unten war ein Abflufsrohr, durch welches das im Stiefel stehende Wasser schnell abfliefsen konnte. Hielt man das Rohr offen, während oben Wasser eingegossen wurde, so erreichte man eine intensivere, aber kürzer dauernde Wirkung, indem das Wasser den Stiefel durchflofs und sogleich ablief.

Tab. VI, A—D und VII, A–C. $^{10}{}_{12}$ 95 ab. Dr. H. Wirkung von Wärme und Kälte.

Wir gehen nun die Einzelheiten dieser Kurven durch. Die V-P safs anfänglich mit dem Fufs in Wasser von 35° C.; bei ↘ 1 in A flofs dieses Wasser ab, so dafs der nasse Fufs nun von der verhältnismäfsig kälteren (18° C.) Luft umgeben war. Die hieraus resultierende Kälteempfindung verschwand bei ↘ 2. Vergleicht man den Anfang von A mit der Mitte, so sieht man, dafs die Oszillationen verschwinden, während die Pulshöhe kleiner wird. Bei ↘ 3 wurde Wasser von 10° C. in den Stiefel gegossen. Die starke Abkühlung erzeugt einen Chok, eine plötzliche unwillkürliche Muskelbewegung, die sowohl in der Respirations-, als in der Volumenkurve zu sehen ist; darauf folgt eine Reihe tiefer Atemzüge, die Pulse werden noch kleiner, es zeigen sich schwache Oszillationen. Gegen die Mitte von B, die eine unmittelbare Fortsetzung von A ist, verliert sich diese Wirkung. Bei ↘ 1 flofs das kalte Wasser aus dem Stiefel ab, was doch nicht sofort eine wesentliche Veränderung des Plethysmogramms herbei-

führte. Es wurde nun wieder Wasser von 35° in den Stiefel gebracht, und die V-P erhielt eine Zeitlang Ruhe, damit der Normalzustand sich einstellte. Ungefähr 2 Min. nach Ende von B wurde C genommen. Der Puls ist höher geworden, die Oszillationen sind zweifelhaft, es finden sich dagegen lange Undulationen, die wohl kaum von der Respiration abhängig sind. Ungefähr da, wo die letzte starke Volumsenkung in der Kurve zu sehen ist, begann das Wasser aus dem Stiefel zu laufen. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C; bei ↖ wurde Wasser von 45° in den Stiefel gegossen. Dies erzeugte augenblicklich eine unangenehme Empfindung des Verbrühens, die sich jedoch gleich wieder verlor; die Nachwirkung läfst sich in einer sehr unregelmäfsigen, zum Teil tiefen Atmung spüren, die im Verein mit hohen Pulsen deutliche Oszillationen erzeugt.

Das heifse Wasser blieb um den Fufs stehen. Ungefähr 1 Min. später wurde VII, A genommen. Hier zeigt sich die andauernde Wirkung der Wärme durch sehr hohe Pulse, die Oszillationen sind, anfangs wenigstens, hervortretend, werden später aber durch andere Undulationen verdeckt. (Die Lage der Nulllinie in ihrer Beziehung zu derjenigen der Tab. VI ist hier unbestimmt, da die Verbindung zwischen den Apparaten und den Schreibhebeln mittlerweile eine Unterbrechung erlitten hatte). B gibt die Situation 4 Min. später. Das warme Wasser war die ganze Zeit hindurch im Stiefel geblieben, wurde aber entfernt, kurz bevor B entstand. Bei ↖ wurde wieder Wasser von 10° eingegossen; die Wirkung ist aufser einer geringen Volumverminderung zunächst ein sehr unregelmäfsiges Atmen, das nur anfangs, wo es besonders tief ist, im Plethysmogramm eine Oszillation hervorbringt. 2 Min. später ist C genommen. Das kalte Wasser hatte fortwährend den Fufs umgeben und wurde nun bei ↖ fortgeschafft. Die Reaktion nach der Abkühlung bewirkt starke Volumsteigung mit hohen Pulsen und deutlichen Oszillationen.

Der Versuch in seiner Gesamtheit ist wohl nicht recht gelungen, teils weil hier fortwährend Undulationen anderer Art auftreten, welche die Oszillationen zum

Teil verdecken, teils weil die Blutgefäſse wegen allzu langer Einwirkung der Wärme und Kälte wahrscheinlich etwas von ihrer Beweglichkeit verloren haben. Ich wiederholte deshalb häufig dieses Experiment mit kürzeren Einwirkungen, welche den charakteristischen Einfluſs der Wärme und Kälte auf das Volumen deutlicher hervortreten lassen. Rücksichtlich des Auftretens der Respirationsoszillationen wird das Resultat aber immer das nämliche; diese erscheinen nur, wenn die Pulse sehr hoch werden, vorausgesetzt natürlich, daſs die Atmung ihre normale Tiefe behält, da sehr tiefe und lange Atemzüge stets Oszillationen hervorzurufen vermögen. Zur näheren Beleuchtung sei noch einer dieser Versuche wiedergegeben.

Tab. VII, D und VIII, A—D. $^{3}/_{11}$ 96 nachm. P. L. Wirkung von Wärme und Kälte; das Plethysmogramm ist am linken Arm genommen.

Der Versuch fängt ebenso wie der vorige damit an, daſs die V-P mit dem Fuſs in Wasser von 35° sitzt. Bei ⊾ 1 in VII, D floſs das Wasser ab, bei ⊾ 2 zeigte die V-P an, daſs sie eine deutliche Kälteempfindung spürte. Diese bewirkte eine so bedeutende Volumsenkung, daſs das Müllersche Ventil mehrmals in Thätigkeit trat, was durch die kleinen Unregelmäſsigkeiten der Kurve ersichtlich ist. Bei ⊾ 3 wurde kaltes Wasser, 6°, in den Stiefel gegossen; die Abfluſsröhre war geöffnet, so daſs das Wasser nur eben durchlief. Das Aufgieſsen dauerte ununterbrochen bis ⊾ 4 in VIII, A, die VII, D unmittelbar fortsetzt. Man sieht, daſs das Volumen immer mehr abnimmt, auch nachdem das Aufgieſsen kalten Wassers aufgehört hat; solange nämlich das Müllersche Ventil funktionierte, ebensolange senkte sich das Volumen. Zum letztenmal erblickt man diese Wirkung des Ventils in demjenigen Pulse, welcher eben vor g steht, hierauf steigt das Volumen allmählich an. Bei ⊾ 5 hörte der durch die Kälte verursachte Schmerz auf, und nun steigt das Volumen schnell; die Kurve B gibt die Fortsetzung ungefähr 7 Sek. später. Das Volumen ist hier bedeutend gestiegen, und die Pulse sind viel höher. Weder in der vorhergehenden, noch in dieser Kurve finden sich jedoch Spuren von Oszillationen. Bei ⊾ 1

in B wurde Wasser von 44° in den Stiefel gegossen, und dieses blieb während der ganzen folgenden Aufzeichnung stehen. ⊼ 2 zeigt an, dafs einen Augenblick ein geringer Wärmeschmerz empfunden wurde; auf diesen Moment folgt eine starke Volumsenkung, die sich indes bald verliert. In der Kurve C, der unmittelbaren Fortsetzung von B, steigt das Volumen stark mit grofsen Pulsen, und hier zeigen sich die Oszillationen schwach am Schlusse von C. Die Aufzeichnungen während der nächsten 30 Sek. sind weggelassen; hier geht die Kurve ein wenig abwärts; darauf folgt D. Von der Mitte an, wo die Kurve aufs neue mit sehr grofsen Pulshöhen ansteigt, werden auch die Oszillationen sichtbar, obschon die Respiration hier nur wenig tief ist.

Es ist indes nicht allein das direkte Einwirken der Wärme oder Aufhören der Kälte, das im Plethysmogramme Respirationsoszillationen erzeugt, indem die Pulse höher werden. Wir wollen uns jetzt nicht länger dabei aufhalten, im Folgenden wird sich aber reichliche Gelegenheit darbieten, zu sehen, dafs dasselbe jedesmal eintritt, wenn die Höhe der Pulse merkbar steigt, ganz ohne Rücksicht darauf, welcher äufsere Reiz dies verursachen möchte. Es braucht auch nicht notwendigerweise eine äufsere Ursache zu sein; auch innere, psychophysiologische Verhältnisse können die Pulshöhe steigern und mithin Oszillationen hervorrufen. Dies geschieht z. B. bei jedem Übergang aus Wachen in Schlafen. Im Folgenden, in den Tab. XI—XIV, werden wir bald Beweise hiervon sehen. Höchst eigentümlich ist es indes, dafs gewisse psychische Zustände stark markierte Oszillationen hervorbringen, trotzdem die Höhe der Pulse weit unter der Norm des betreffenden Individuums ist. Ein Beispiel in dieser Beziehung gab bereits Tab. V. E; während einer spontan entstehenden unruhigen Stimmung werden hier die Pulshöhen kleiner (von dem 6. Pulsschlag an zu zählen), und gerade hiermit treten die Oszillationen hervor. Es ist nicht schwer, noch mehr Beispiele hiervon zu beschaffen, denn es ist sehr selten, dass jemand, der zum erstenmal als V-P Dienst leistet, völlig normales Gleichgewicht des Gemüts besitzt. Und die Unruhe oder Furcht, welche die Applikation

der Apparate mit sich bringt, gibt sich stets durch Pulse von subnormaler Höhe und Respirationsoszillationen zu erkennen. Darum hört aber keineswegs die Gültigkeit der allgemeinen Regel auf: dafs die Oszillationen um so hervortretender werden, je höher die Pulse sind. Denn wenn die Stimmung sich zu verlieren anfängt, wachsen die Pulshöhen, mithin auch die Oszillationen. Ein vorzügliches Beispiel hiervon gibt:

Tab. IX, A – C. $^{17}/_{9}$ 96 nachm. Dr. B. unruhig, weil er zum erstenmal als Versuchsobjekt bethätigt war. Das Plethysmogramm vom linken Arm.

Die Kurve A zeigt deutliche Oszillationen; in B, die 1 Min. später genommen ist, ohne dafs in der Zwischenzeit ein besonderes Experiment gemacht wäre, steigen die Pulshöhen, indem die Furcht zu schwinden beginnt. Damit werden auch die Oszillationen stärker. C zeigt den Zustand nach mehreren verschiedenen Versuchen einige Minuten später. Die Stimmung ist fast verschwunden, grofse Pulshöhen und gewaltige Oszillationen. Die Lage der Nulllinie in ihrer Beziehung zu B ist unbestimmt, da die Leitung in der Zwischenzeit eine Unterbrechung erlitten hatte.

Noch eine Stimmung wollen wir im Folgenden zum Gegenstand näherer Untersuchung machen, die »Spannung« nämlich, die gespannte Erwartung. Diese ist konstant durch sehr niedrige Pulshöhen und kaum merkbare Respirationsoszillationen charakterisiert. Ist der Affekt kein allzu gewaltiger, so wird er leicht durch schwache Reize aufgehoben, welche die V-P veranlassen, die Aufmerksamkeit auf irgend etwas Bestimmtes zu konzentrieren; das Aufhören der Spannung erweist sich dadurch, dafs das Volumen ein wenig anwächst und die Pulshöhen viel gröfser werden. Dann treten auch die Oszillationen ein. Ein gutes Beispiel hiervon ist wiedergegeben:

Tab. IX, D. $^{15}/_{4}$ 96 nachm. P. L. »Spannung«, durch schwache Flötentöne aufgehoben.

Der Zeitpunkt und die Dauer der Reize sind durch die auf der Nulllinie angebrachten ⊓1 und ⊓|2 bezeichnet. Wir halten uns hier nicht bei dem Umstand auf, dafs die Volumveränderung nicht gleichzeitig mit dem Reize, sondern erst etwas später eintritt; dies ist,

wie wir unten sehen werden, eine ziemlich konstante Erscheinung. Vorläufig interessiert uns nur die deutlich aus der Kurve hervorgehende Thatsache, dafs die Oszillationen eintreten, indem die Pulshöhe anwächst, ohne dafs die Atmung wesentliche Veränderung erlitten hätte.

Damit die Pulshöhen und somit auch die Oszillationen anwachsen, ist es übrigens gar nicht notwendig, dafs eine gewisse Stimmung aufhöre. Sobald die Pulshöhen steigen, einerlei, wie diese Veränderung hervorgebracht sein möge, werden auch die Oszillationen mehr hervortreten, selbst wenn die Stimmung ganz unverändert fortbesteht.

Tab. X, A. 10/3 96 nachm. A. L. stark deprimierte Stimmung infolge eines unangenehmen Ereignisses. Gegen die Mitte der Kurve ist die Aufzeichnung von 40 Sek. weggelassen, während welcher es versucht wurde, ob die Stimmung durch den Geruch des Heliotrops sich etwas besänftigen liefse.

Es liefs sich kein andrer Einflufs des angenehmen Geruchs nachweisen als der, dafs die Pulse ein wenig höher wurden; die Stimmung veränderte sich natürlich nicht im geringsten. Bei den höheren Pulsschlägen sieht man indes auch die Oszillationen gröfser werden.

Als Ergebnis dieser Betrachtungen können wir nun folgenden Satz aufstellen:

Die Respirationsoszillationen der Volumkurve sind erstens von der Tiefe und Dauer der Atmung abhängig, indem sie um so mehr hervortreten, je tiefer und länger die Respiration ist. Ferner sind sie von der Pulshöhe abhängig, indem jeder Zustand oder jedes Aufhören eines Zustandes, der eine Steigung der Pulshöhe mit sich bringt, zugleich die Oszillationen stärker hervortreten läfst. Endlich gibt es gewisse bestimmte Affektzustände, die Respirationsoszillationen erzeugen, trotzdem sie von subnormalen Pulshöhen begleitet werden[1].

[1] Es möchte wohl fast überflüssig sein, zu bemerken, dafs bei Individuen, die ich nicht untersucht habe, möglicherweise Abweichungen von dieser allgemeinen Regel vorkommen können. Dieselbe Bemerkung läfst sich natürlich an alle im Folgenden nachgewiesenen Gesetz-

Da die Respirationsoszillationen so leicht erkennbar sind, weil ihre Periode stets mit der der Respiration zusammentrifft, findet selten die Gefahr statt, dafs man eine Undulation dieser Art mit einer auf anderem Wege hervorgerufenen Volumveränderung verwechseln wird. Es möchte deshalb überflüssig scheinen, dafs wir die Bedingungen ihres Entstehens so sorgfältig zu erhellen gesucht haben. In diagnostischer Beziehung ist es jedoch von nicht geringer Bedeutung, diese Bedingungen zu kennen, weil man schon hierdurch ein Mittel besitzt, zu entscheiden, ob ein Individuum sich in völlig normalem Gleichgewicht des Gemüts befindet. Aus dem Vorhergehenden folgt nämlich:

Wenn in der Volumkurve einer bestimmten V-P Respirationsoszillationen stark hervortreten, ohne dafs das Atmen besonders tief oder lang ist, und ohne dafs ein äufserer Reiz (Wärme, Kälte u. s. w.) supernormale Pulshöhen erzeugt hat, so ist die V-P entweder schläfrig oder in Gemütsbewegung bestimmter Art. Unter solchen Verhältnissen angestellte Versuche werden also nicht rein, weil die V-P nicht als in normalem Gleichgewicht des Gemüts befindlich betrachtet werden kann.

Das jähe Sinken der Volumkurve. Es wurde bereits oben S. 41 nachgewiesen, dafs das jähe Sinken der Volumkurve nicht unter solchen Verhältnissen vorkommt, wo willkürliche Denkarbeit als ausgeschlossen zu betrachten ist. Es liegt deshalb die Vermutung nahe, dafs diese Undulationen die Folge psychischer Thätigkeit sind. Diese Ursache läfst sich mit Sicherheit offenbar nur mittels Selbstbeobachtung feststellen, und

mäfsigkeiten knüpfen, weil diese aus Beobachtungen an einer verhältnismäfsig begrenzten Anzahl Individuen induziert sind. Da dies so selbstverständlich ist, begnüge ich mich damit, ein für allemal darauf aufmerksam zu machen. Hiermit soll jedoch keineswegs gesagt sein, ich sei sehr geneigt, an das Vorkommen individueller Abweichungen zu glauben. Es wird sich im Gegenteil im Folgenden zeigen, dafs die sogenannten individuellen Differenzen, welche frühere Verfasser nachweisen zu können geglaubt haben, um so mehr verschwinden, je mehr man mit den Merkmalen der verschiedenen Gemütszustände, die auf die Versuchsresultate zu influieren vermögen, vertraut wird.

Digitized by Google

jedesmal, wenn ich selbst als Versuchsperson bethätigt war, achtete ich genau auf alle plötzlich auftauchenden Gedanken und zeigte sogleich deren Existenz an, um möglicherweise ihre Gleichzeitigkeit mit bestimmten Volumschwankungen zu konstatieren. Es scheint denn auch kein Zweifel darüber herrschen zu können, dafs alle jähen und weniger regelmäfsigen Undulationen wirklich von Gedanken herrühren. Die beiden folgenden Kurven geben den ersten Fall wieder, in welchem ich im stande war, das Verhalten zu konstatieren.

Tab. X, B. 25/2 96 nachm. A. L. normal, ruhig. Die hier und in der folgenden Kurve auftretenden Oszillationen rühren wahrscheinlich davon her, dafs die Temperatur des Lokals ungewöhnlich hoch, 20° C., geworden war; eine andere Ursache hat sich jedenfalls nicht nachweisen lassen.

Tab. X, C. 25/2 96 nachm. A. L. Spontan auftauchende Gedanken, wie einige Versuche angestellt werden müfsten.

X, C ist 2 Min. nach X, B genommen. In der Zwischenzeit waren einige Versuche angestellt worden, und ich geriet nun in Nachdenken darüber, wie dieselben hätten ausgeführt werden müssen. Der Augenblick, da diese Gedanken auftauchten, ist nicht bezeichnet, nach der Zeit, die verstrich, bis die Zone des Cylinders ausgeschrieben war, liefs sich aber vermuten, dafs es ungefähr dort geschah, wo b an der Kurve steht. Ich fafste indes den Vorsatz, bei erster gegebener Gelegenheit die genaue Bestimmung dieses nicht unwesentlichen Moments durchzuführen. Dies ist nicht besonders schwer, da man natürlich keinen solchen Fall abzuwarten braucht, wo ein Gedanke von selbst auftaucht; man kann ebensowohl an etwas zu denken anfangen, wenn man eine gewisse Zeitlang gedankenleer gesessen hat. Diesen Versuch zeigt:

Tab. X, D. 13/3 96 nachm. A. L. Bei ⊾ 1 begann das Ausrechnen von 19×63; bei ⊾ 2 wurde das Rechnen durch eine Frage des Experimentators unterbrochen, die ich beantwortete.

Der Gedanke, dafs ich mich mit Rechnen beschäftigen wollte, ist selbstverständlich entstanden, bevor ich mir die Aufgabe geben konnte, und bevor ich mittels

Digitized by Google

des pneumatischen Apparats, den ich in der Hand hielt, das Zeichen an dem Cylinder anbrachte. Demgemäſs sieht man in der Kurve eine kleine Steigung drei Pulsschläge vor ↖ 1. Die Unterbrechung bei ↖ 2 war durchaus wider die Versuchsanordnung, die während der Versuche kein Reden gestattete; die Antwort bestand auch nur in einem kurzen Verweis. — Auch andere Versuchspersonen haben häufig die Beobachtung gemacht, daſs sie es während eines gegebenen Zeitraumes nicht unterlassen konnten, an irgend etwas zu denken; die aufgenommene Kurve zeigt dann stets jähe Schwankungen. Ein Beispiel hiervon gibt:

Tab. XI, A. $^{15}/_{10}$ 95 abends. H. K. lebhafte psychische Thätigkeit.

Einen ferneren Beweis, daſs diese jähen Schwankungen von einer Denkthätigkeit herrühren, hat man an ihrer Form und an den gleichzeitig eintretenden Veränderungen der Anzahl der Herzschläge. Diese stimmen ganz mit dem überein, was wir später als aller Konzentration der Aufmerksamkeit und aller Denkthätigkeit charakteristisch antreffen werden. Den näheren Nachweis hiervon müssen wir indes aufschieben, bis wir die letztgenannten Verhältnisse in ihren Einzelheiten studiert haben. Indem wir also diesem Beweise vorgreifen, können wir folgendes Ergebnis feststellen:

Das jähe Sinken der Volumkurve wird durch Gedanken, durch psychische Thätigkeit ohne hervortretende Gefühlsbetonung verursacht.

Was dies bedeutet, ist in die Augen springend. Während es nämlich einige Menschen gibt, denen es ohne Schwierigkeit gelingt, sich allenfalls eine kurze Zeit gedankenleer zu erhalten, so daſs die Pulse der Volumkurve sich sozusagen von einer geraden Linie erheben, gibt es andre, die sich anscheinend nicht in einen solchen Zustand versetzen können. Ihre Volumkurve ist in unablässiger Bewegung. Dergleichen Individuen lassen sich offenbar nur mit groſser Vorsicht als Versuchspersonen verwerten, da man ihrer nie sicher sein kann. Bei ihnen kommt es namentlich darauf an, die Versuche so geschwind wie möglich aufeinander folgen zu lassen, damit sie keine Zeit bekommen, in

Gedanken zu verfallen. Dafs auch diese Methode übrigens nicht ohne Mifslichkeiten ist, braucht wohl kaum hinzugesetzt zu werden.

Die sanften Undulationen der Volumkurve. Wenn ein Mensch in normalem Gleichgewicht des Gemüts sich eine Zeitlang frei von Gedanken hält, wird man sehen, dafs das Armvolumen sanfte, ziemlich regelmäfsige Veränderungen erleidet. Diese Undulationen gewahrt man am leichtesten, wenn man sich eine Linie quer durch die Fufspunkte der Pulse im Plethysmogramm gelegt denkt; diese Linie wird keine gerade, sondern eine wellenförmige. Gute Typen geben schon Tab. III, C u. D; IV, D; X, B. Über die Ursache dieser Undulationen weifs man nichts. Mosso, der sie namentlich in den Volumkurven des Gehirns untersuchte, hat allerdings nachgewiesen, dafs sie bald auf Veränderungen des Herzschlages, bald auf rein vasomotorischer Thätigkeit zu beruhen scheinen, was aber diese Veränderungen wieder bedingt, ist noch nicht entschieden[1]. Dagegen sagt er von analogen Veränderungen der Blutgefäfse im äufseren Ohre des Kaninchens: »dafs sie mit den Sinnes- und Gefühlseindrücken und dem jeweiligen Geisteszustande dieser Tiere zusammenhängen«[2]. Es ist nun auch nicht wahrscheinlich, dafs die sanften Undulationen in Plethysmogrammen von Menschen rein physiologischen Ursprungs sind. Denn allerdings treten sie erst auf, wenn die psychische Thätigkeit bis zu einem gewissen Grade eingestellt ist, anderseits fehlen sie aber durchaus während des tiefen Schlafes, von dem sich gewifs behaupten läfst, dafs er alle seelische Thätigkeit auf ein Minimum reduziert. Da es mir leider nie gelungen ist, einen Menschen während meiner Versuche in tiefen Schlaf zu bringen, vermag ich zum Beweis des völligen Mangels an Undulationen nur Mossos Tafel VIII anzuführen. In den von mir beobachteten Anwandelungen von Schlaf zeigt es sich aber ebenfalls, dafs die Undulationen fast verschwinden, was wegen des Gegensatzes zum zunächst vorhergehenden Zustande, der ausgeprägten Schläfrigkeit, die

[1] Kreislauf des Blutes. Leipzig 1881. S. 104 u. f.
[2] L. c. S. 121.

Digitized by Google

sich durch grofse, oft fast periodische Undulationen kennzeichnet, äufserst charakteristisch ist. Zum Anfang gebe ich den einzigen Fall wieder, in welchem es während meiner Versuche eintraf, dafs eine V-P erklärte, wirklich geschlafen zu haben, während sie im Apparate safs. Es ist insofern ein merkwürdiger Fall, als von dem Augenblick an, da die V-P sich schläfrig erklärte, bis sie die Augen wieder aufschlug und mitteilte, sie habe ausgeschlafen, nicht mehr als 2 Min. verflossen. Ganz aus dem täglichen Leben unbekannt ist ein so kurzer Schlaf wohl nicht, und da die betreffende Versuchsperson ein Psychologe von Fach war, ist ihrer Behauptung, sie habe wirklich während eines kleinen Augenblicks das Bewufstsein verloren, gewifs einiges Gewicht beizulegen. Wenn ich mich dennoch ihrer Behauptung ein wenig skeptisch gegenüberstelle, so rührt dies ausschliefslich von dem Umstande her, dafs die Respirationskurve während der Periode, da der vermeintliche Schlaf eingetroffen sein mufs, durchaus nicht die langsamen, oberflächlichen Atemzüge des Schlafes zeigt.

Tab. XI, B u. C. 25/2 96 vorm. Kll. schläfrig, zuletzt schlafend.

XI, B zeigt den Zustand, gleich nachdem die V-P sich schläfrig erklärt hatte, und es ihr bedeutet worden war, sie würde Ruhe zum Schlafen bekommen. Hier ist eine sehr gedehnte Undulation; gegen Ende steigt das Volumen etwas mit grofsen Pulsschlägen, und die Respirationsoszillationen werden somit stark hervortretend. C ist die unmittelbare Fortsetzung von B. Zu Anfang der Kurve ist das Volumen noch grofs mit hohem Puls und Oszillationen; gegen die Mitte sinkt es plötzlich, und sowohl die Oszillationen als die langen Undulationen verschwinden zugleich fast ganz. Bei der erwähnten Volumsenkung mufs das Einschlafen stattgefunden haben, und es deutet denn auch alles, bis auf das ziemlich geschwinde und unregelmäfsige Atmen, darauf hin, dafs die V-P geschlafen haben kann. Am Schlusse der Kurve war ein Streifen des Cylinders ausgeschrieben, und indem der Kymograph stockte, schlug die V-P die Augen auf und erklärte, ausgeschlafen zu haben. Es wurden hierauf verschiedene Versuche an-

gestellt, ganz ist sie die Schläfrigkeit aber gewifs nicht los geworden, denn wenn sie eine kurze Zeit sich selbst überlassen wurde, stellten die langen Undulationen nebst Oszillationen sich wieder ein. Dies sieht man deutlich:

Tab. XI, D. 25/2 96 vorm. Kll. 3 Min. nach Ende von C.

Ein länger anhaltender Schläfrigkeitszustand, aber ohne hinterdrein folgenden Schlaf, ist auf der nächsten Tafel gezeigt.

Tab. XII, A—D. 2/5 96 nachm. C. J. schläfrig.

XII, A zeigt den Zustand, etwas bevor die Schläfrigkeit überwältigend wurde. Die Kurve ist nicht ganz ohne Oszillationen, was entweder davon herrühren kann, dafs die V-P schon zu diesem Zeitpunkt schläfrig war, oder möglicherweise auch davon, dafs die betreffende Dame sich selten ganz normal befand, wenn sie Versuchsobjekt war. Dessenungeachtet wurden einige Versuche angestellt, die hier ohne Interesse sind. 4 Min. später erklärte sie, sie sei so schläfrig, dafs ferneres Experimentieren fruchtlos sein würde, und es wurde ihr sogleich mitgeteilt, dafs sie Ruhe zum Schlafen erhalten würde. Darauf wurde XII, B genommen. Die Atmung ist langsam und oberflächlich. Das Volumen steigt enorm mit so hohen Pulsschlägen, wie sie noch nie an dieser V-P beobachtet worden waren. Das Druckventil mufste einmal über das andere geöffnet werden, damit der Schreibhebel nicht so hoch steigen sollte, dafs er die Berührung mit der Schreibfläche verlöre. Diese Volumsteigung hielt noch 2 Min. nach Ende von B an, doch war das Steigen natürlich fortwährend abnehmend; unmittelbar nachdem es aufgehört hatte, wurde C genommen. Hier erblickt man dieselbe regelmäfsige, lange und oberflächliche Atmung wie vorher; das Plethysmogramm zeigt sehr langgedehnte Undulationen, über welche die Oszillationen sich als kleinere Wellen erheben. Dieser Zustand dauerte unverändert 4 Min. lang; da die Aufzeichnungen während dieser ganzen Zeit völlig dem entsprechen, was in C gezeigt ist, habe ich sie hier weggelassen. Gegen Schlufs der genannten Zeit trat eine neue Phase ein, indem die Kurve ziemlich plötzlich flacher wurde; die Undulationen

hörten auf, und die Oszillationen wurden bedeutend kleiner. Dies zeigt XII, D. Um zu erfahren, ob die V-P schliefe, wurde ein schwacher Flötenton geblasen; der Zeitpunkt und die Dauer sind durch ⊓ angezeigt. Augenblicklich schlug sie die Augen auf, und die Kurven zeigen, daſs eine wesentliche Veränderung des gesamten Zustands vorgegangen ist. Die Respiration wird schneller und tiefer, das Volumen sinkt stark, die Höhe der Pulse nimmt bedeutend ab. Die V-P gab an, sie sei dem Einschlafen nahe gewesen, wäre auch gewiſs in Schlaf gefallen, hätte man ihr nur noch ein wenig Ruhe gelassen. Insofern ist es zu bedauern, daſs der Eingriff zu früh kam; sonst zeigt das Experiment aber alles, was hier für uns Interesse hat. Erstens sehen wir, wie die Oszillationen mehr hervortreten, während die Pulsschläge höher werden, obschon die Respiration mehr oberflächlich ist. Und ferner zeigt es sich, daſs die ganze Schläfrigkeitsperiode durch die langgedehnten, starken Undulationen gekennzeichnet wird, die indes fast in dem Augenblick, da es dem Einschlafen nahe kommt, beinahe verschwinden. Dies deutet stark darauf hin, daſs diese Undulationen mit psychischen Zuständen, vagen, traumähnlichen Bewuſstseinszuständen oder dgl. in Verbindung stehen. Fast völlige Gewiſsheit hierüber wurde durch eine einzelne, zufällige Beobachtung gewonnen.

Als der Dr. H. sich eines Abends im Laboratorium einfand, machte er sogleich die Bemerkung, er sei sehr schläfrig und eigne sich wohl kaum zur V-P. Möglichst schnell wurden die Apparate an ihm appliziert; den Zustand zeigt die folgende Tafel.

Tab. XIII, A—C. 4/5 96 abends. Dr. H. schläfrig.

XIII, A ist gleich, nachdem alles in Ordnung war, genommen. Das Plethysmogramm zeigt ein schwach anwachsendes Volumen mit steigenden Pulshöhen und immer mehr hervortretenden Oszillationen. Die Aufzeichnungen während der nächsten 3 Min. sind nicht wiedergegeben; im Laufe dieser Zeit wächst das Volumen sehr wenig, die Pulshöhen dagegen mehr, die Undulationen sind erkennbar, obgleich sie fast von den gewaltigen Oszillationen verdeckt werden. Der Zustand ist während dieser ganzen Zeit durchaus der nämliche

wie der Tab. XIII, B gezeigte, die nach Verlauf der 3 Min. genommen wurde. C ist die unmittelbare Fortsetzung von B. Hier sieht man eine gewaltige Undulation; das Volumen sinkt stark und steigt darauf wieder. Gerade bei dieser Volumsenkung beobachtete ich, dafs die V-P mit einem Ruck die Augen aufschlug; gleich darauf schlossen diese sich wieder. Als der ganze Versuch beendigt war, fragte ich H. nach diesem Ereignis. Er erinnerte sich desselben sehr wohl; er war, wie es so oft im Halbschlummer geschieht, durch einen plötzlich auftauchenden Gedanken erweckt worden, der ihn einen Augenblick fast ganz wach gemacht hatte. Diese Beobachtung scheint mir recht bedeutsam. Wir haben hier einen den Umständen nach besonders lebhaften Bewufstseinsinhalt, der von ungewöhnlich starker Undulation begleitet wird. Hierdurch wird es in hohem Grade wahrscheinlich, dafs auch die schwächeren Undulationen durch Bewufstseinszustände erzeugt werden, die nur vager sind, die Aufmerksamkeit nicht stark fesseln.

Von dieser Annahme aus verstehen wir vollkommen, weshalb die sanften Undulationen gerade unter solchen Verhältnissen auftreten, unter welchen sie erfahrungsgemäfs erscheinen. Erstens fanden wir sie überall, wo ein normaler, wacher Mensch sich »gedankenleer« zu erhalten sucht. Dies heifst ja anders nichts, als dafs er es, soweit möglich, unterläfst, die Aufmerksamkeit auf einen auftauchenden Gedanken zu konzentrieren. Solange man aber wacht, ist es wahrscheinlich unmöglich, sich von jeglichem Bewufstseinsinhalt loszumachen, und dies verrät sich eben durch die sanften Undulationen des Volumens. Wird dagegen die Aufmerksamkeit einmal bestimmt auf einen Gedanken konzentriert, so erhalten wir die jähen Senkungen der Kurve, die wir oben erklärt haben. — Zweitens sehen wir sanfte Undulationen während der Schläfrigkeit; hier sind gerade alle Bedingungen ihres Auftretens vorhanden. Es fällt dem Individuum schwer, die Gedanken zu sammeln, die Aufmerksamkeit zu konzentrieren; deshalb entstehen keine jähen Senkungen der Kurven. Die Gedanken durchströmen das Bewufstsein als vage, traumhafte Bilder, und ihre Existenz verrät sich durch die sanften

Undulationen. Dafs diese unmittelbar vor dem Einschlafen wieder verschwinden, ist ebenfalls natürlich, da der Schlaf notwendigerweise in einem Moment eintreten mufs, wo es an allem Bewufstseinsinhalt fehlt. Und während des tiefen, wahrscheinlich traumlosen Schlafes mufs auch in den Kurven völlige Ruhe walten. Da das Auftreten der sanften Undulationen sich also von der genannten Voraussetzung aus vollständig erklären läfst, wird es höchst wahrscheinlich, dafs

die sanften Undulationen der Volumkurve von vagen Bewufstseinszuständen herrühren, welche die Aufmerksamkeit nicht zu fesseln vermögen.

In dem zuletzt besprochenen Falle der Schläfrigkeit findet sich noch ein Punkt, der näherer Beleuchtung bedarf. Vergleicht man diesen Fall mit dem vorhergehenden (Tab. XII), so sieht man, dafs von der starken Volumsteigung, womit letzterer beginnt, im ersteren nur schwache Andeutungen sind. Dieser Mangel an Übereinstimmung ist indes leicht verständlich, wenn man bedenkt, dafs die Aufzeichnungen im einen Falle erst begannen, als die Schläfrigkeit schon längst eingetreten war, so dafs der ganze Anfang, wo die Volumsteigung vermeintlich stattfand, also fehlt. Es fällt nun auch nicht schwer, zu konstatieren, dafs das Armvolumen des Dr. H. während der Schläfrigkeit wirklich abnorm grofs war. Wir brauchen die V-P nur in den normalen, wachen Zustand zurückzubringen; dann wird das Volumen auch seine normale Gröfse annehmen, sich also stark vermindern, wenn es während der Schläfrigkeit ungewöhnlich grofs gewesen ist. Dafs dies wirklich der Fall war, geht hervor aus:

Tab. XIV, A—D. 4/5 96 abends. Dr. H. schläfrig, wird durch verschiedene Reize geweckt.

XIV, A zeigt den Zustand anderthalb Minuten nach Schlufs von XIII, C; in der Zwischenzeit war keine wesentliche Veränderung eingetreten, und der Anfang von XIV, A zeigt auch ganz dieselben Verhältnisse wie der Schlufs von XIII, C. Bei |¬ versuchte man nun mittels eines kräftigen Flötentons in die ziemlich uninteressante Situation eine Abwechslung zu bringen. Die Wirkung ist die nämliche, die früher unter ent-

Digitized by Google

sprechenden Verhältnissen beobachtet wurde; das Volumen sinkt jäh und stark, die Pulse werden kleiner, die Oszillationen nehmen ab. Es wurden hierauf eine Reihe Versuche mit ziemlich zweifelhaftem Erfolg angestellt; die V-P war und blieb so schläfrig, dafs sie die Augen schlofs und in den vorigen Zustand versank, sobald sie sich selbst überlassen war. Dies ist aus Kurve B zu ersehen, die ungefähr 15 Min. nach A genommen ist; vor B hatte die V-P 3 Min. lang völlige Ruhe. Es wurde nun ein kräftigeres Mittel versucht, um dieser Stumpfheit ein Ende zu machen; bei ┌┐ wurde mittels einer Spray ein Ätherstrahl unter den Ärmel längs des linken Arms eingeführt. Die Wirkung war fürchterlich. Das Volumen sank plötzlich und so stark, dafs der Schreibhebel die Bewegung nicht zu registrieren vermochte; 40 Sek. hindurch zeichnete er nur eine gerade Linie (auf der Tafel weggelassen). Darauf stieg das Volumen wieder, anfangs sehr langsam, wie das Ende von B zeigt, darauf schneller. C ist die Fortsetzung von B nach Verlauf von 5 Sek. Sie zeigt ein höchst sonderbares Abwechseln von Wachen, mit kleinem Volumen und geringer Pulshöhe, und Anwandelungen von Schläfrigkeit, mit steigendem Volumen und grofser Pulshöhe. Da die eine Ätherbesprengung also nicht genügt hatte, wurde dasselbe noch einmal versucht, wie in D, der unmittelbaren Fortsetzung von C, zu sehen ist. Bei ┌┐ wurde die Spray auf dieselbe Weise wie vorher benutzt und hatte ein neues, gewaltiges Sinken des Volumens zur Folge; zu wiederholten Malen wurde das Ventil geöffnet, damit die Volumkurve nicht zu einer geraden Linie reduziert würde.

Das Experiment zeigt zweifelsohne, dafs das Armvolumen der schläfrigen V-P ein abnorm grofses war. Die durch den Äther erzeugte Abkühlung wird freilich stets ein Sinken des Volumens verursachen, die Senkung wird aber, wie wir später sehen werden, bei einem normalen, wachen Menschen niemals so gewaltig.

DIE AUFMERKSAMKEIT.

Nachdem wir nun, wenigstens in den Hauptzügen, die Entstehung der verschiedenen Formen von Undulationen, die in den Normalkurven erscheinen, erklärt haben, schreiten wir zur Untersuchung der körperlichen Äufserungen der einzelnen Bewufstseinszustände. Anfangs suchen wir diese Äufserungen bei Individuen in völlig normalem Gleichgewicht des Gemüts zu bestimmen; wir nehmen daher vorläufig keine Rücksicht auf alle solchen Fälle, wo die V-P selbst konstatierte, oder die vorher aufgenommenen Normalkurven vermuten lassen, dafs ein spezieller Gemützustand (Affekte irgend einer Art, Schläfrigkeit oder dgl.) sich geltend gemacht habe. Erst nachdem wir darüber ins reine gekommen sind, wie die verschiedenen Bewufstseinszustände sich äufsern, wenn sie während normalen Gleichgewichts des Gemüts entstehen, können wir mit Erfolg diejenigen Komplikationen studieren, welche ein vorausgegebener Gemütszustand spezieller Art herbeiführen wird. Und da ferner ein bestimmter psychischer Zustand, namentlich wenn er experimentell durch eine äufsere Reizung hervorgerufen werden soll, fast stets durch die Konzentrierung der Aufmerksamkeit eingeleitet werden wird, so müssen wir ganz natürlich damit anfangen, diese, soweit möglich, in ihren verschiedenen Formen als isolierte Erscheinung zu untersuchen.

Willkürliche Aufmerksamkeit, Denken. Es ist keineswegs leicht, die einigermafsen starke und andauernde willkürliche Konzentration der Aufmerksamkeit zuwege zu bringen, ohne dafs andere psychische Zustände mit einflössen. Die häufigst angewandte Methode ist die, dafs man der V-P eine Rechenaufgabe im Kopf zu lösen gibt. Allenfalls meine Versuchspersonen waren aber durchweg so wenig im Kopfrechnen geübt — obgleich sie alle studierten —, dafs sogar eine leichtere Aufgabe dieser Art ihnen unangenehm war. Mithin war die Methode, streng genommen, unbrauchbar, da es die unbetonte Konzentration der Aufmerksamkeit, nicht aber einen durch peinliche Arbeit hervorgerufenen Affekt zu untersuchen galt. Verschiedenes deutet denn auch an,

Digitized by Google

dafs frühere Forscher auf diesem Gebiete in der Wahl ihrer Mittel nicht vorsichtig genug gewesen sind; namentlich bei Binet[1] scheinen häufig die hervorgerufenen Affekte die Hauptrolle in den Resultaten gespielt zu haben. Man mufs also sehr behutsam sein; wenn man die Versuchsperson mit angemessen kleinen Zahlen operieren und den Abschlufs der Rechenaufgabe ohne Nennung des Resultats anzeigen läfst, schliefst man die schlimmsten Quellen eines Affekts aus. Ferner notierte ich selbstverständlich in jedem einzelnen Falle, ob die V-P deutliche Unlust an der Arbeit fühlte; diese Versuche sind vorläufig als »nicht rein« ausgesondert. Übrigens wurden die Aufgaben bald mündlich, bald schriftlich gegeben, indem ein Stück Karton, auf welches die Aufgabe mit grofsen Zahlen geschrieben war, der V-P in geeigneter Entfernung vorgehalten wurde. Diese Variation führte ich ein, um zu konstatieren, dafs die in den Kurven beobachtete Wirkung nicht durch einen Schallreiz allein entstand. Ich habe indes keinen Unterschied in den Resultaten der beiden Verfahrungsarten entdecken können.

Aufser den Rechenaufgaben wurden auch andre Mittel benutzt, um eine Konzentration der Aufmerksamkeit hervorzurufen. In einigen Fällen wurde der V-P das Wiedererkennen einer Melodie zur Aufgabe gemacht; sofort nach der Wiedererkennung hielt die Spieldose auf. Eine schwache Lustwirkung ist hierbei vielleicht nicht ganz ausgeschlossen; da die Äufserungen der Lustgefühle indes, wie wir später sehen werden, nur wenig hervortretend sind, hat dieselbe wohl kaum wesentlichen Einflufs auf das Resultat gehabt. In andern Fällen wurde der V-P ein Stück Karton mit 6, 8 oder 10 zusammenhangslosen Silben gezeigt; sie war dann vorher instruiert, die Silben eine gewisse Anzahl Male durchzulesen, worauf sie versuchen sollte, ob sie dieselben auswendig könnte. Endlich wurde auch das »Punktezählen« angewandt. Auf einem Stücke Karton waren eine grofse Menge (20—40) schwarze Punkte auf ganz unregelmäfsige Weise angebracht, und

[1] Binet et Courtier: Circulation capillaire etc. L'année psychologique II.

es war die Aufgabe der V-P, diese zu zählen, was oft ziemlich schwer war, weil die Punkte verwirrten.

In den Tab. XV—XVII wiedergegebenen Kurven kommen Beispiele aller genannten Methoden vor. Hier sind nur solche Fälle mitgenommen, in welchen die V-P vor dem Versuche in normalem Gleichgewicht des Gemüts war, und wo derselbe keine merkbare Gemütsbewegung in ihr hervorrief. Es wird sich denn auch erweisen, wenn wir nun die Kurven durchgehen, daſs diese in einer Reihe wesentlicher Punkte miteinander übereinstimmen, ohne hervortretende individuelle Verschiedenheiten und von den zur Hervorrufung der konzentrierten Aufmerksamkeit angewandten Methoden unabhängig sind. Nur die gröſsere oder geringere Dauer der psychischen Arbeit erzeugt einen merkbaren Unterschied der Kurven; sonst zeigt sich die Gesetzmäſsigkeit nicht allein im Steigen und Sinken der Volumkurve, sondern auch in den Variationen des Herzschlags. Bei jedem Versuche gebe ich deshalb in tabellarischer Form eine Übersicht über die in jeder Phase vorkommende Anzahl der Pulsschläge und die durch Messung bestimmte Durchschnittslänge der Pulse.

Tab. XV, A. $^{16}/_{12}$ 95 abends. A. L. Das Punktezählen bei ⊾ 1 angefangen, bei ⊾ 2 beendigt.

Das Atmen wird unregelmäſsig; das Volumen zeigt bei ⊾ 1 eine kleine Steigung, die indes von der gleichzeitigen starken Exspiration herrühren kann; darauf eine Senkung, worauf es bis zur Norm ansteigt. Der Herzschlag zeigt in den einzelnen Phasen folgende Variationen:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	5	2	4	3	12
Länge . .	5,5	5,0	6,0	4,7	5,7

Tab. XV, B. $^{26}/_{9}$ 95 abends. Ly. Punktezählen von ⊾ 1 bis ⊾ 2.

Das Atmen wird unregelmäſsig; das Volumen zeigt hier wie im vorigen Falle eine zweifelhafte Steigung bei ⊾ 1, darauf starkes Sinken und Steigen bis zur Norm. Man hat ferner:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	9	2	6	9	6
Länge . . .	4,6	4,4	4,7	4,6	4,5

Digitized by Google

Tab. XV, C. 26/9 95 abends. Ly. Rechenaufgabe 12×21 bei ⊾ 1 angefangen, bei ⊾ 2 beendigt.

Die Volumkurve war vor Anfang des Rechnens nichts weniger als normal, indem sie eine grofse und jähe Senkung zeigt; es gelang aber wohl nicht ein einziges Mal, diese V-P mehr als nur ein paar Sekunden hindurch völlig zur Ruhe zu bringen. Da es indes sicher ist, dafs sie die gestellte Aufgabe im Zeitraum zwischen ⊾ 1 und ⊾ 2 löste, darf man die hier vorkommenden Veränderungen wohl dieser psychischen Arbeit zuschreiben. Die Veränderungen sind übrigens ganz die nämlichen wie vorher. Die Atmung wird unregelmäfsig, das Volumen steigt schwach, fällt darauf plötzlich, um wieder zu steigen: letztere Steigung ist jedoch äufserst unregelmäfsig, wahrscheinlich war die V-P hier wieder mit ihren eigenen Gedanken beschäftigt. Der Herzschlag zeigt folgende Veränderungen:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	23	4	5	3	3	3	10
Länge . . .	5,4	4,8	5,5	4,6	4,8	5,0	4,7

Tab. XV, D u. E. 8/10 96 nachm. A. L. Rechenaufgabe, 87×78, bei ⊾ 1 angefangen, bei ⊾ 2 beendigt. E ist die unmittelbare Fortsetzung von D.

Man sieht, dafs diese lange dauernde und mehr anstrengende Arbeit in ihren Äufserungen etwas von den vorhergehenden abweicht. Die Atmung wird zwar unregelmäfsig, gegen Ende der Arbeit aber bedeutend oberflächlicher. Das Volumen zeigt anfänglich keine Steigung, sondern hält sich fast unverändert, darauf folgt die Senkung und ein Steigen bis zu normaler Höhe, auf welcher es sich während des gröfsten Teils der Arbeit erhält. Erst bei Angabe des Resultats tritt wieder eine kleine Schwankung ein. Die Veränderungen der Geschwindigkeit des Herzschlags sind indes sehr bedeutend:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	24	3	6	11	11	7	25	11	25
Länge .	5,7	5,0	5,5	4,6	4,5	4,6	4,2	4,1	5,0

Tab. XVI. A. 29/10 96 nachm. A. L. Rechenaufgabe, 32×42, von ⊾ 1 bis ⊾ 2. Plethysmogramm des linken, Radialis des rechten Arms.

Die Veränderungen sind ganz dieselben wie die vorher genannten. Was die Frequenz des Herzschlags betrifft, ist hier die Eigentümlichkeit, dafs die Veränderung nicht sogleich eintritt, wie die Aufgabe gegeben wird, sondern erst mit dem folgenden Pulsschlag. Im nächsten Beispiel, Kurve B, verfliefst noch längere Zeit, bevor die Veränderung zu spüren ist; hier war die V-P sich indessen bewufst, dafs sie nicht gleich auf die Aufgabe losgegangen war, und dasselbe mag wohl auch die Verzögerung in der Kurve A verursacht haben. Der Herzschlag zeigt übrigens ähnliche Veränderungen wie in den vorhergehenden Fällen:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	14	2	5	19	6	4	4
Länge . . .	6.6	5,5	5,8	5,0	4.6	4,8	5,7

Tab. XVI, B. 12/10 96 nachm. A. L. Rechenexempel. 34×72, von \ 1 bis \ 2. Plethysmogramm des linken, Radialis des rechten Arms.

Die Veränderungen wesentlich wie vorher; stark beschleunigte, jedoch oberflächliche Atmung. Die wahrscheinliche Ursache, weshalb die Variationen des Herzschlags nicht sogleich eintreten, wurde oben erwähnt.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	17	4	5	36
Länge . . .	5,7	4,7	5,3	4,6

Tab. XVI, C. 2/11 96 vorm. J. N. Rechenaufgabe, 11×57, von \ 1 bis \ 2. Plethysmogramm des linken, Radialis des rechten Arms.

Die V-P war augenscheinlich nicht vollständig ruhig, als die Aufgabe gestellt wurde, und es erscheint deshalb eine kleine Abweichung von dem früher Gefundenen in betreff der Veränderungen des Herzschlags; man hat nämlich:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	17	1	6	11	20
Länge . . .	5,2	5,5	5,4	4,6	5,0

Mit Bezug auf die Atmung und die Volumschwankungen sind die Verhältnisse übrigens ganz wie bei den früheren Versuchen.

Digitized by Google

Tab. XVII. A. 26/9 95 abends. Dr. N. Rechenaufgabe, 11×14, von ⊾ 1 bis ⊾ 2.

Hier sind recht lebhafte Undulationen sowohl vor als nach dem Stellen der Aufgabe, diese scheinen aber durchaus keinen Einflufs auf die Wirkung der psychischen Arbeit zu haben. Der jähe Fall des Volumens, den die Arbeit mit sich bringt, kontrastiert deutlich mit den sanfteren Undulationen.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	12	3	4	11	16
Länge . . .	4,8	4,6	5,0	4,7	4,9

Tab. XVII, B. 9/11 96 vorm. J. N. Volumen des linken Arms, rechter Radialispuls. Zwischen ⊾ 1 und ⊾ 2 wurde eine Reihe von 8 sinnlosen Silben zweimal durchgelesen und darauf auswendig reproduziert.

Die Kurve weicht, wie zu erwarten, in ihrer Form nicht so wenig von den vorhergehenden Versuchen ab. Die eigentlich anstrengende psychische Thätigkeit tritt hier ja lediglich gegen Schlufs ein, wenn die V-P sich selbst in der Silbenreihe »verhört«; anfangs ist da weiter nichts als die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit auf das Papier und das mechanische Durchlesen. Wir sehen deshalb auch bei ⊾ 1 eine geringere Volumsenkung als gegen ⊾ 2. Leider ist es hier nicht bezeichnet, wann das Durchlesen aufhielt und die Reproduktion begann; wahrscheinlich geschah dies bei der ersten schwachen Volumsenkung nach e; da wir den Punkt aber nicht bestimmt markiert finden, ist eine Bearbeitung dieses Teils der Kurve nicht viel wert. Der Anfang zeigt alle gewöhnlichen Äufserungen der Konzentration der Aufmerksamkeit:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	15	4	5	11
Länge	4,9	4,4	5,0	4,4

Tab. XVII, C. 15/10 96 vorm. P. L. Wiedererkennen einer Melodie, die sofort nach dem Wiedererkennen aufhielt. ⊓ gibt die Dauer an.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	10	3	6	8	14
Länge . . .	5,2	5,0	5,8	5,4	5,7

Digitized by Google

Dieser Versuch ist hier nur mitgenommen, weil die V-P angab, dafs sie ihre Aufmerksamkeit beim Wiedererkennen wirklich aktiv angespannt habe. Das Resultat deutet jedoch nicht hierauf hin, indem die Messung durchweg Pulsverlängerung zeigt, die der passiven Aufmerksamkeit ebenso charakteristisch ist, wie die Pulsverkürzung der aktiven. Von einer bedeutenderen psychischen Arbeit kann hier auch keine Rede gewesen sein; die sehr musikalische V-P mufste eine oft gehörte Melodie wiedererkennen können, ohne »sich zu besinnen« zu brauchen, und dafs dies der Fall gewesen ist, geht denn auch aus der Dauer der ganzen Erscheinung deutlich hervor, vgl. die Tafel.

Tab. XVII, D. 3/12 96 nachm. P. L. Rechenaufgabe, 7×27, von ⋋ 1 bis ⋋ 2. Plethysmogramm des linken Arms.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . . .	11	4	8	4	3	25
Länge . . .	5,7	5,0	5,8	5,3	5,9	5,1

Die hier gegebenen Beispiele lassen sich aus der vorliegenden Materialsammlung leicht durch eine grofse Anzahl andrer supplieren, die ganz das nämliche zeigen, dies möchte aber gewifs als überflüssig betrachtet werden. In allen Fällen findet man:

Eine Konzentration der Aufmerksamkeit wird unmittelbar von wenigen geschwinden Pulsen begleitet, während welcher die Volumkurve eine Neigung zum Steigen zeigt. Darauf folgen 4 bis 8 langsame Pulse, während welcher das Volumen sinkt; die Länge dieser Pulse ist stets gröfser als die der zunächst vorhergehenden, oft überschreitet sie sogar die Norm. Schliefslich steigt das Volumen wieder bei geschwindem Puls; die Dauer dieser Periode ist sehr abwechselnd. Fafst man diese drei ersten Phasen zusammen, so ist die Pulslänge stets verkürzt. Ist das normale Volumen erreicht, so wird auch die Pulslänge ungefähr normal wie ursprünglich. Die Atmung ist während des ganzen Verlaufs unregelmäfsig. Folgt auf die erste An-

Digitized by Google

spannung der Aufmerksamkeit eine länger dauernde, gleichförmige psychische Arbeit, so erhält das Volumen sich ziemlich auf der Norm, aber mit stark verkürztem Puls; kleine Schwankungen erscheinen gewöhnlich erst gegen Ende der Arbeit. Während dieser Periode ist die Atmung meistens beschleunigt und oberflächlich.

Es wird nun nicht schwer nachzuweisen sein, dafs die früher erwähnten jähen Undulationen, die in den Normalkurven hervortreten, wenn die V-P mit ihren eigenen Gedanken beschäftigt ist, in allem Wesentlichen mit den Äufserungen der Konzentration der Aufmerksamkeit übereinstimmen. Was die Form der Volumschwankungen betrifft, ist dies unmittelbar zu ersehen, aber auch hinsichtlich der Variationen der Pulslänge findet Übereinstimmung statt. Als Nachweis hiervon führe ich die Ergebnisse der Messung an, die einige der früher besprochenen Kurven lieferten. So Tab. X, C:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	25	5	7	4	6
Länge . . .	5,7	6,2	5,4	6,2	5,8

Ferner Tab. X, D, wo nicht einmal die erste kleine Volumsteigung gleich zu Anfang fehlt:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	11	3	7	7	3	13	11
Länge . . .	4,3	4,0	4,3	3,9	4,5	4,0	4,2

Endlich Tab. XI, A, die zwei ausgeprägte, bei b, resp. h beginnende Undulationen zeigt. Zu bemerken ist, dafs der Buchstabe k auf der Tafel bei dem zunächst vorhergehenden Pulsschlag, wo die Steigung anfängt, hätte stehen sollen.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl	3	5	6	4	11	5	13	3	6	6
Länge	4,7	4,2	5,4	5,3	4,6	4,4	4,9	4,3	4,9	4,0

Im Gegensatz zu diesen zeigen die sanften Undulationen einen ganz andern Verlauf. Volumsenkung und Pulsverlängerung, Volumsteigung und Pulsverkürzung gehen allerdings auch hier fortwährend miteinander zusammen, die Veränderungen der Pulslänge sind aber

Digitized by Google

sehr klein, auch wenn die Volumschwankungen sehr grofs sind. Dies zeigt sich deutlich Tab. II, C.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i
Anzahl . .	16	7	11	5	6	8	9	14
Länge . . .	4,0	3,9	3,8	3,9	3,8	3,8	4,0	4,0

Der Gegensatz der beiden Arten von Undulationen zu einander tritt in solchen Kurven besonders gut hervor, wo sie unmittelbar miteinander abwechseln. Dies ist z. B. der Fall Tab. III, D, wo die jähe Senkung am Schlufs von einer entsprechenden jähen Variation der Pulslängen begleitet wird:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl	11	5	6	5	8	5	3	4	4	5
Länge	5,2	5,1	5,3	5,4	5,3	5,4	5,3	4,6	5,5	5,4

Wie oben nachgewiesen, rühren die beiden Arten der Undulationen wahrscheinlich von denselben Ursachen her, von einer Vorstellungsthätigkeit, die nur mit Bezug auf die Stärke, womit sie die Aufmerksamkeit fesselt, verschieden ist. Es ist deshalb auch ganz interessant, zu sehen, dafs der schwächeren psychischen Thätigkeit weniger eingreifende Veränderungen der Frequenz des Herzschlages entsprechen.

Unwillkürliche Aufmerksamkeit, Erschrecken. Im Vorhergehenden betrachteten wir ausschliefslich solche Fälle, wo die Konzentration der Aufmerksamkeit durch innere Motive herbeigeführt wird, während der äufsere Reiz nur den Anlafs dazu gibt, dafs das Individuum sich in psychische Thätigkeit setzt. Wir kommen nun zu denjenigen Fällen, wo der äufsere Reiz allein den Zustand bestimmt, indem er wegen seiner Stärke sich die Aufmerksamkeit erzwingt, ganz unberücksichtigt, ob das Individuum aus inneren Gründen wünschen möchte, dieselbe nach anderen Richtungen zu lenken. Eine solche plötzliche und gewaltsame Richtungsänderung der Aufmerksamkeit kann nicht ohne Gemütsbewegung vorgehen; diese ist der stark unlustbetonte Zustand, den man Erschrecken nennt. Die Gemütsbewegung selbst, die psychische Veränderung, dauert gewöhnlich nur einen Augenblick, bis das Individuum sich auf die Ursache des Erschreckens besonnen hat und einsieht,

dafs keine Gefahr ferner droht; geschieht dies nicht, so kann der Zustand in den chronischen Affekt des Schrecks übergehen[1]. Bei Versuchen im Laboratorium wird selten von etwas anderem als einem rein instantanen Erschrecken die Rede sein, dessenungeachtet halten die körperlichen Äufserungen oft lange an. Mitunter wird der Zustand durch eine plötzliche, unwillkürliche Muskelbewegung eingeleitet, die sich sowohl in der Respirations- als in der Volumkurve spüren läfst, dies ist aber in hohem Mafse individuell verschieden und keineswegs nur von der Stärke des Reizes abhängig. Auf den folgenden 3 Tafeln, XVIII—XX, sind häufig dergleichen Störungen der Kurven zu sehen. Auch bei diesen Versuchen sicherte man sich natürlich, dafs die V-P sich vorher in normalem Gleichgewicht des Gemüts befand, so dafs der Zustand »rein« und nicht mit anderen kompliziert war.

Tab. XVIII, A. 25/11 96 abends. A. L. Erschrecken über das plötzliche Ertönen einer Orgelpfeife.

Aufser der rein augenblicklichen Stockung der Respirationsbewegung, welche der Chok herbeiführt, findet sich kaum eine Veränderung der Atmung. Das Plethysmogramm zeigt aufser einer unwillkürlichen Muskelbewegung zugleich eine geringe Senkung, worauf es bis zur Norm steigt. Der Puls zeigt folgende Variationen:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	13	6	8	8
Länge	6,0	6,3	6,0	6,0

Tab. XVIII, B. 25/2 96 nachm. Kll. Erschrecken über den starken, hohen Ton einer Orgelpfeife.

Hier ist kaum die Spur einer Einwirkung auf das Atmen. In der Volumkurve zeigt sich ein Verhalten, dessen Andeutung schon in A erschien, dafs die Senkung nämlich nicht sofort, zugleich mit dem Reize, sondern erst ein paar Pulse später eintritt. Während dieser Pulsschläge findet sich eine ähnliche Neigung zum Steigen des Volumens, wie bei der willkürlichen Konzentration der Aufmerksamkeit; in den folgenden Kurven wird diese Neigung entschiedener. Meines Ermessens

[1] Die nähere Entwicklung hiervon ist in den »Hauptgesetzen« S. 101 u. f. gegeben.

ist dies Verhalten zunächst von der Stärke des Zustands abhängig: beim heftigen Erschrecken fehlt niemals ein kleines Steigen vor dem Sinken, bei schwächerer Gemütsbewegung dagegen kann es zuweilen unterbleiben. Die Veränderungen des Herzschlags sind:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	15	7	10	24
Länge	5,1	5,6	5,2	5,3

Tab. XVIII. C. $^{10}{}_{9}$ 96 nachm. P. L. Erschrecken über ein starkes Geräusch.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	13	4	6	8	25
Länge . . .	5,0	5,0	5,8	4,8	5,5

Schon diese drei Versuche genügen, um das dem Erschrecken Eigentümliche: die durchgängige Pulsverlängerung zu zeigen. Bei der Volumsenkung zeigt sich eine starke Verlängerung des Pulses, bei der nachfolgenden Steigung sind die Pulse allerdings ein wenig verkürzt, werden dann aber oft bedeutend länger, wenn das Volumen die Norm erreicht hat. Dies ist insofern merkwürdig, als es gewifs der einzig vorkommende Fall ist, in welchem ein Unlustaffekt von Pulsverlängerung begleitet wird. Um sicher zu gehen, dafs die beobachtete Pulsverlängerung keine nur zufällige, durch unbekannte Komplikationen des Zustands verursachte Ausnahme sei, wiederholte ich den Versuch in grofsem Umfang an verschiedenen Personen, und die Assistierenden entfalteten erstaunliche Erfindsamkeit, um den erforderlichen infernalischen Lärm in allen möglichen Variationen hervorzubringen. Das Resultat wurde stets dasselbe. Bei einigen einzelnen Versuchen wandte ich Mossos Hydrosphygmographen mit dem Arm direkt in Wasser an, um vor Fehlern der Instrumente völlig gesichert zu sein; gerade bei diesen Versuchen tritt die Pulsverlängerung am deutlichsten hervor, weil die Verkürzung, die in einer einzelnen Phase erscheinen kann, sich nicht aussondern läfst, da alle Volumschwankungen eliminiert sind. Dies sieht man z. B.:

Tab. XVIII. D. $^{26}{}_{11}$ 96 nachm. P. L. Erschrecken über einen Pistolenschufs. Hydrosphygmogramm des linken Arms.

Phase	a-b	b-c	c-d
Anzahl	13	2	33
Länge	5,8	4,5	6,4

Von den beiden ersten Pulsen nach dem Reize abgesehen, wo sich eine bedeutende Verkürzung findet, zeigen alle übrigen Phasen zusammengefaſst eine ziemlich ansehnliche Pulsverlängerung. So groſs wie hier ist sie freilich keineswegs immer, aber doch stets merkbar.

Tab. XIX, A. $^{2}/_{11}$ 96 vorm. J. N. Erschrecken, dadurch hervorgerufen, daſs ein herabfallendes Gewicht eine Flasche in einem Blecheimer zerschmetterte. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl	18	3	3	5	19	7
Länge	5,4	5,3	5,0	5,6	5,3	5,4

Die Normalkurve ist nicht ganz ohne Undulationen, trotz des Sinkens eben vor dem Reize sieht man aber doch sogleich nach diesem eine schwache Neigung zum Steigen; der fernere Verlauf ist typisch.

Tab. XIX, B. $^{23}/_{11}$ nachm. J. N. Erschrecken über einen Schuſs. Hydrosphygmogramm des linken Arms.

Phase	a-b	b-c	c-d
Anzahl	17	2	35
Länge	5,4	5,2	5,5

Sogar unter recht ungünstigen Verhältnissen, Indispositionen u. dgl., unterbleibt die Wirkung des Erschreckens nicht. So im folgenden Beispiel:

Tab. XIX, C. $^{20}/_{3}$ 96 abends. Dr. H. Unbehaglich, da eine starke Erkältung im Ausbruch war. Erschrecken bei ↖.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl	18	4	5	14	6	10
Länge	4.0	4,0	4,1	4,1	3,8	4,3

Die beiden folgenden Kurvenreihen zeigen nichts Abweichendes; ich gebe sie nur wieder, um die Sache ferner zu beleuchten, und beschränke mich deshalb darauf, das Resultat der Messung anzuführen.

Tab. XX, A. $^{10}/_{3}$ 96 nachm. H. K. Erschrecken über ein heftiges Geräusch.

Digitized by Google

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	28	4	5	8	14
Länge . . .	4,0	3,8	4,5	4,1	4,4

Tab. XX. B. 29/10 96 nachm. A. L. Erschrecken. Plethysmogramm des linken Arms, rechter Radialispuls (unten).

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	12	3	5	8	8
Länge . . .	5,1	4,9	5,8	5,0	5,3

Als Gegensatz dieser Kurven kann die folgende angeführt werden, wo der Zustand allerdings durch heftiges Erschrecken eingeleitet wurde, kurze Zeit hindurch indes den Charakter des Schrecks annahm, weil die V-P nicht sogleich ausfindig zu machen vermochte, was geschehen war. Das Geräusch war auf ungewöhnliche Weise mittels einiger Schlüssel erzeugt. Der Zustand steht jedenfalls auf dem Übergang in eigentlichen Schreck, vgl. Tab. XXXVIII, A.

Tab. XX, C. 24/9 96 nachm. A. L. Heftiges Erschrecken, einiger Schreck.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	19	3	6	11	13
Länge . . .	5,8	5,1	5,8	5,5	5,8

Schliefslich gebe ich hier die einzige in meinem Material befindliche Kurve wieder, wo der Zustand zwar ein ungemischtes Erschrecken war, dennoch aber eine Pulsverkürzung stattfand. Der Versuch ist jedoch nicht ganz rein, teils weil die V-P Kälte empfand, teils weil der Puls schon vorher so abnorm langsam war, dafs vermehrte Verlängerung kaum möglich schien. Eine Pulslänge von 8,3 mm entspricht 43—44 Schlägen per Minute.

Tab. XX, D. 9/11 96 vorm. A. L. fühlte Kälte, bei N Erschrecken.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	8	2	4	6	17
Länge . . .	8,3	8,0	8,3	7,8	7,9

Die Ergebnisse der vorliegenden Versuche lassen sich in folgenden Satz zusammenfassen:

Digitized by Google

Die durch einen starken und plötzlichen äufseren Reiz hervorgerufene unwillkürliche und unlustbetonte Fesselung der Aufmerksamkeit (das Erschrecken) influiert gewöhnlich nicht auf die Atmung, davon abgesehen, dafs eine kurze Kontraktion gewisser willkürlicher Muskeln sich auch in der Atembewegung verraten kann. Das Armvolumen zeigt gewöhnlich erst eine geringe Neigung zum Steigen, darauf Senkung und dann Steigung bis zur Norm. Während die ersten Pulse nach der Reizung meistens verkürzt sind, wird der Zustand sonst als Gesamtheit durch Pulsverlängerung charakterisiert; diese tritt in den Volumsenkungen indes entschiedener hervor als in den Steigungen.

Wir haben hier nur Fälle des Erschreckens untersucht, die durch Schallreize hervorgerufen wurden, weil diese sich am leichtesten erzeugen lassen; erfahrungsgemäfs wird aber jeder hinlänglich starke und plötzliche Sinnesreiz ebensogut ein Erschrecken verursachen können. Selten erhält man indes den Zustand so rein wie bei Schallreizen. Wahrscheinlich werden auch starke und unerwartete Lichtblitze ganz ähnliche Wirkung haben; da die Erzeugung solcher Reize aber einen ziemlich komplizierten Apparat erfordert, der sich der V-P nicht leicht verbergen läfst, habe ich solche nicht versucht. Bei allen andern Sinnesreizen dagegen mufs gerade der eigentümliche Charakter des Reizes neben der Intensität und dem unerwarteten Eintreten desselben zur Geltung kommen. Ein starker und unerwarteter Ammoniakgeruch wird so z. B. sowohl erschreckend wirken als wegen der Geruchsempfindung ein längeres Unbehagen hervorrufen. Somit wird der Zustand also mehr zusammengesetzt, und dies mufs notwendigerweise in den begleitenden physiologischen Veränderungen Ausdruck erhalten. Wir können diese Fälle deshalb nicht recht wohl behandeln, bevor wir die allgemeinen Äufserungen der Unlust untersucht haben. Auf Tab. XLIX, C und L, C sind ein paar Kurven wiedergegeben, die das Erschrecken unter derartig komplizierten Verhältnissen

zeigen, und bei der Besprechung dieser Kurven werden wir also wieder auf die Sache zurückkommen.

Das Erschrecken ist zunächst als der extreme Fall einer unwillkürlichen Änderung der Richtung der Aufmerksamkeit zu betrachten, indem der Zustand wegen seiner Stärke und der Schnelligkeit, womit er eintritt, unlustbetont wird. Bekanntlich kann eine unwillkürliche Veränderung der Aufmerksamkeit aber auch verlaufen, ohne im geringsten das Gepräge eines Affekts zu erhalten. Die nähere Untersuchung dieser Fälle wollen wir indes aufschieben, bis wir einen dritten, sehr entschiedenen Zustand der Aufmerksamkeit, die Spannung, erklärt haben.

Spannung, Erwartung. Der aktiven, willkürlichen, durch innere Motive erzeugten Lenkung der Aufmerksamkeit und der passiven, unwillkürlichen, durch äufsere Reizung hervorgerufenen Fesselung der Aufmerksamkeit schliefst sich die Spannung oder Erwartung an, die mit beiden andern Zuständen etwas gemein hat. Sie ist insofern aktiv, als die Aufmerksamkeit durch innere Ursachen, nämlich das Wissen oder Vermuten, dafs bald etwas geschehen werde, ihre Richtung erhält. Anderseits ist sie aber unwillkürlich, weil die Konzentration der Aufmerksamkeit durch die gegebenen Umstände herbeigeführt wird, oft ohne dafs das Individuum sich dieser Konzentration bewufst ist. Zu den Affekten oder Stimmungen kann man diesen Zustand nicht rechnen, weil er im allgemeinen nicht gefühlsbetont sein wird. Ist das Erwartete besonders lust- oder unlustbetont, so erhält der Zustand allerdings den Charakter der Gemütsbewegung — für diese Affekte hat die Sprache indes besondere Namen. Der Zustand kann auch, entweder weil er zu lange dauert, oder weil die Aufmerksamkeit besonders stark konzentriert ist, unlustbetont werden; diese Gefühlsbetonung rührt aber zunächst von Ermüdung her und geht die Spannung an und für sich nichts an. Gar zu anhaltendes Denken kann ja ebenfalls ermüdend und somit unlustbetont werden, deswegen läfst sich aber doch nicht behaupten, dafs eine willkürliche Konzentration der Aufmerksamkeit an und für sich unangenehm wäre. Die Spannung ist also — allenfalls innerhalb gewisser Grenzen — ein durchaus unbetonter Zustand der Aufmerksamkeit. Und eben weil

sie von seiten des Individuums keine besondere Anstrengung erfordert, sondern auf natürliche Weise durch die gegebenen Umstände herbeigeführt wird, ist man sich sehr selten des Zustands bewufst — ausgenommen vielleicht, wenn er bis zu extremer Stärke anwächst.

Im täglichen Leben tritt dieser Zustand natürlich sehr häufig ein. Ich sehe am andern Ende der Strafse einen Auflauf von Menschen, und unwillkürlich wird meine Aufmerksamkeit nach dieser Richtung gespannt, damit ich im Vorbeigehen bemerke, was da los ist. Ich sehe einige Menschen, die Uhr in der Hand, den Zeitball anstarren, und meine Aufmerksamkeit kehrt sich ebenfalls dem Zeitballe zu, dessen Fallen ich abwarte, um meine Uhr zu stellen. Auf diese Weise wird der Zustand der Aufmerksamkeit, wenn durch die gegebenen Umstände bestimmt, bald eine Spannung in der Richtung des Unbekannten, Unbestimmten, bald eine Erwartung von etwas Bestimmtem sein. Und im Laboratorium wird man bei Versuchen der hier vorliegenden Art als Versuchsobjekt ununterbrochen Veranlassung haben, in Spannung zu sein, weil man fortwährend das sichere Wissen besitzt, dafs einem bald etwas geschehen wird. Ist man nicht im stande, sich von diesem Bewufstsein, dafs etwas geschehen werde, loszumachen, so ist man als V-P einfach unmöglich. Denn die Spannung hat ihre bestimmten, sehr charakteristischen körperlichen Äufserungen, und solange diese zum Vorschein kommen, werden alle andern Reaktionen anormal. Ich gehe schwerlich zu weit, wenn ich behaupte, dafs fast ausschliefslich die Spannung schuld daran ist, dafs die verschiedenen Forscher auf diesem Gebiete teils so viele untereinander abweichende Resultate aufzuweisen haben, teils genötigt worden sind, ganze Reihen individuell verschiedener Reaktionsformen aufzustellen. Den Beweis von der Richtigkeit dieser Behauptung werde ich sogleich im Folgenden führen. Und dafs bisher niemand den Einfluss der Spannung entdeckt hat, scheint mir leicht verständlich. Denn der Zustand scheint von ganz unbegrenzter Dauer zu sein, kann sich Tag für Tag wiederholen. Bei derjenigen V-P, mit welcher dies der Fall ist, erhält man deshalb stets die nämlichen anormalen Reaktionen, so dafs diese also das Gepräge be-

kommen, als wären sie diesem Individuum normal. Und die V-P selbst entdeckt schwerlich ihren Zustand, denn das unwillkürliche Lenken der Aufmerksamkeit auf das, was geschehen soll, ist unter den gegebenen Verhältnissen so natürlich, dafs es ihr nie einfällt, es sei nicht alles, wie es sein sollte.

Es war ein reiner Zufall, dafs ich den merkwürdigen Einflufs der Spannung auf die Reaktionen gewahrte. Erst durch zahlreiche Versuche lernte ich den Zustand aus den Kurven diagnostizieren und bei meinen Versuchspersonen beherrschen. Am leichtesten werde ich diese ganze Sache mit Hilfe einer historischen Darstellung erläutern können, zu der die vorliegenden Kurven die notwendigen Illustrationen liefern.

Eines Abends im Frühling 96 kam der stud. med. P. L. vorhergehender Verabredung gemäfs ins Laboratorium, um zu sehen, wie man hier arbeitete. Während einer Unterbrechung der Versuche wurde es ihm vorgeschlagen, den Platz der V-P einzunehmen, und hierzu war er sogleich bereit. Man nahm nun auf:

Tab. XXI, A. 20/3 96 abends. P. L. anscheinend ruhig und normal.

Diese Kurve schien mir indes keineswegs befriedigend. Ich hatte an hinlänglich vielen Menschen Plethysmogramme genommen, um zu wissen, dafs zwischen dem Wuchs und Bau der betreffenden V-P und der Höhe der Pulse stets eine gewisse Proportionalität stattfindet; selbstverständlich erhält man gröfsere und kräfgere Pulse von dem Arm eines stark gebauten erwachsenen Mannes als von dem einer zarten, kleinen Frau. Und von dem wohlgewachsenen, 6 Fufs grofsen P. L. erwartete ich unwillkürlich Pulse, die wenigstens drei- bis viermal so grofs wären als diejenigen, welche Tab. XXI, A aufweist. Der Gegensatz meiner Erwartungen zur Wirklichkeit war so auffallend, dafs ich sogleich, trotz des völlig regelmäfsigen Verlaufs der aufgenommenen Kurve, das Vorhandensein eines anormalen Gemütszustandes vermutete. Ich fing deshalb an, mit der V-P zu experimentieren, um mir womöglich mittels der Reaktionen ein Urteil darüber zu bilden, was eigentlich dahinter steckte. Der kräftige, nie versagende Einflufs des Ammoniaks auf das Volumen wurde zuerst versucht:

Tab. XXI, B. $^{20}/_{3}$ 96 abends. P. L. Bei ⊓ Ammoniak.

Von einem ganz unregelmäfsigen Puls abgesehen, finden sich hier nicht viele Anzeichen, dafs ein kräftiger Reiz stattgefunden hat; die normale starke Volumsenkung infolge der Einatmung von Ammoniak fehlt jedenfalls gänzlich. Kurz darauf wurde ein Erschrecken versucht:

Tab. XXI, C. $^{20}/_{3}$ 96 abends. Bei ⋋ Erschrecken über ein plötzliches Geräusch.

Hier ist dieselbe Unveränderlichkeit des Volumens wie oben. Die Sache fing an etwas mystisch zu werden, und ich sann gerade darüber nach, was nun zu thun sei, als der anwesende Dr. H., mit dem vorher experimentiert worden war, plötzlich ein Bund Schlüssel mit grofser Kraft an die Thür warf. Dies kam mir so überraschend, dafs ich fast vom Stuhle emporfuhr, die V-P schien es jedoch nicht zu affizieren.

Tab. XXI, D. $^{20}/_{3}$ 96 abends. P. L. Unmittelbare Fortsetzung von C. Bei g Erschrecken.

Auffallend ist es hier, dafs das Erschrecken vielmehr eine Volumsteigung als die wohlbekannte Senkung hervorzurufen scheint. Da selbst kräftige Ursachen der Unlust also keinen besonderen Einflufs auf die V-P hatten, wurde ein sanfteres Mittel versucht, indem ich ihm eine grofse und hübsch ausgeführte Photochromie zeigte.

Tab. XXI, E. $^{20}/_{3}$ 96 abends. P. L. Unmittelbare Fortsetzung von D. Bei ⋋ 1 Vorzeigen einer Photochromie, die bei ⋋ 2 entfernt wurde.

Hier findet sich ein ganz deutliches und nicht zu bezweifelndes Steigen des Volumens zwischen den beiden Zeichen, was um so mehr auffällt, da gerade Lustzustände selten einen merkbaren Ausschlag geben. Die ganze Weise, wie die V-P reagierte, war und blieb ein Rätsel. Natürlich wurde er einem scharfen Verhör unterworfen: ob er körperlich krank sei, ob er sich in Furcht oder einer anderen Gemütsbewegung befinde, ob das Ammoniak ihm nicht unangenehm sei, ob der plötzliche Lärm ihn nicht erschreckt habe u. s. w.? Die Antworten auf alle diese Fragen gaben keinen besonderen Aufschlufs. P. L. befand sich sowohl geistig als körperlich vollkommen wohl, war nicht im geringsten

Digitized by Google

unruhig und hatte alles, was beabsichtigt war, subjektiv gefühlt. Während der Reizung mit Ammoniak sei er dem Ersticken nahe gewesen, und die Thränen seien ihm an den Wangen hinabgeflossen; beim Erschrecken, namentlich das letzte Mal, habe ihn ein gewaltiger Ruck durchzuckt; das hübsche Bild habe er in gröſster Ruhe genossen. Da die anormalen Reaktionen hierdurch um nichts verständlicher wurden, war nichts anderes zu thun, als ihn einer systematischen Untersuchung zu unterwerfen, und zu diesem Zweck wurde die erforderliche Verabredung getroffen. Die nächste Zusammenkunft fand indes erst 4 Wochen später statt.

Da ich nicht im geringsten bezweifelte, daſs ein anormaler psychischer Zustand vorliege, den die V-P nicht erklären wollte oder auch nicht könnte, so muſsten die ferneren Versuche ausschlieſslich darauf angelegt sein, die Beseitigung dieses Zustandes zu erreichen. Ich beschloſs deshalb, die V-P vorläufig nur durch schwache, zunächst angenehme und hinlänglich abwechselnde Reize, die keine psychische Anspannung hervorzurufen vermöchten, in Atem zu halten; während solcher Kleinigkeiten muſste die V-P zuletzt ganz gleichgültig werden, ohne doch stumpf oder schläfrig werden zu können. Um P. L. völlig zu beruhigen, teilte ich ihm dieses Programm im voraus mit, und meine Erwartungen wurden nun auch nicht getäuscht; im Laufe von anderthalb Stunden gelang es mir wirklich, den anormalen Zustand zu heben und dann und wann einzelne normale Reaktionen hervorzurufen. Eine reiche Auswahl aus den Versuchen dieses Abends geben in chronologischer Ordnung:

Tab. XXII, A—E u. XXIII, A—D. $^{15}/_{4}$ 96 abends. P. L. verschiedene Reize während schlieſslich beseitigter Spannung.

Wir gehen nun die Kurven einzeln durch. Die Versuche begannen mit einigen schwachen Tönen der Stimmgabel bei ⊓1 und ⊓2 in XXII, A. Die Zeichen geben wie gewöhnlich die Dauer des Reizes an. Der erste, kurze Ton rief eine deutliche Volumsteigung, der nächste, längere eine kurze Senkung hervor. Gleich zu Anfang der nächsten Umdrehung des Cylinders, XXII, B, 1 Min. nach A genommen, zeigte sich eine Erscheinung, die ich noch nie wahrgenommen hatte, ein

starkes, kurzes Steigen mit einzelnen hohen Pulsen, worauf die Kurve bis auf das vorherige Niveau sank. Bei ⋀ 1 wurde ein Stück Karton mit der Rechenaufgabe 8+16+21 vorgehalten, bei ⋀ 2 kam die Beantwortung; die Reaktion ist durchaus anormal: ein Steigen des Volumens mit hinterher folgendem Sinken bis zum Niveau. In der nächsten Reihe, XXII, C (zuunterst auf der Tafel), wiederholt sich das nämliche; das Volumen fängt hier ziemlich hoch an bei grofsen Pulsen, worauf es ohne äufseren Anlafs bis zum vorigen Niveau sinkt. Hier begann sich in mir eine Vermutung von dem Zusammenhang der Sache zu regen. Es konnte kaum zweifelhaft sein, dafs die V-P nun normal war, solange der Kymograph sich nicht bewegte; sobald dieser aber in Gang gesetzt wurde, war ihr dies ein Signal zum Zurückkehren in den anormalen psychischen Zustand, welcher sicherlich nichts anderes sein konnte als gespannte Erwartung. Dies teilte ich der V-P mit, die indes nicht im stande war, mittels Selbstbeobachtung einen derartigen Wechsel ihres Zustands zu konstatieren. Die ferneren Versuche bestätigten jedoch völlig die Richtigkeit meiner Vermutung. XXII, D ist der Anfang der nächsten Umdrehung des Cylinders, 1 Min. nach Ende von C genommen. Hier ist ganz dasselbe Verhalten wie zu Anfang von C: grofses Volumen mit hohen Pulsen und darauf ein unmotiviertes Sinken bis aufs frühere Niveau und kleine Pulse. XXII, E ist die unmittelbare Fortsetzung von D. Bei ⋀ berührte ich eine kurze Zeit sehr sanft das Ohr der V-P, was angenehm überraschend wirkte; ein wenig später steigt das Volumen und hält sich eine Zeitlang hoch bei grofsen Pulsen. Jetzt fühle ich mich meiner Sache ziemlich gewifs: das relativ grofse Volumen mit hohen Pulsen war das Anzeichen des normalen Gleichgewichts des Gemüts, in welchem sich die V-P befand, wenn sie kein neues Experiment erwartete; sobald aber ein solches bevorstand, trat die Spannung, durch kleines Volumen und niedrige Pulse charakterisiert, wieder ein. War dies richtig, so brauchte man also nur einen Augenblick abzuwarten, in welchem die Spannung aufgehoben sein würde, und die Reaktionen mufsten normal werden.

Eine Andeutung hiervon erscheint XXIII, A, 15 Sek. nach XXII, E genommen. Bei ↖ ein starkes Rascheln, das einiges Erschrecken erzeugte. Die Pulse sind vorher etwas höher als früher, wenn man auch nicht sagen kann, die Spannung sei vollständig aufgehoben; die Reaktion ist doch am ehesten normal: kurzes Steigen, darauf Sinken, dann ein Steigen, das hier die Norm überschreitet. Die Messung zeigt auch die charakteristischen Pulsveränderungen des Erschreckens:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	15	2	6	8	25
Länge . . .	5,1	5,0	6,1	4,6	5,4

Dies eine unangenehme Experiment hatte übrigens schicksalsschwangere Folgen, indem die V-P während der nächsten 20 Min. sich in konstanter Spannung befand, aus der sie nicht herauszubringen war. Den Aufzeichnungen während dieses ganzen Zeitraums entnehme ich nur einen einzigen Versuch, der den Zustand charakterisiert. Derselbe ist XXIII, B wiedergegeben. Dafs Spannung vorhanden ist, läfst sich sogleich aus den kleinen Pulsen ersehen; bei ↖ 1 wurde die Aufgabe 7×14 gegeben, bei ↖ 2 kam die Beantwortung; die Reaktion ist augenscheinlich ganz anormal. Es blieb also nichts anderes übrig, als ganz von vorne anzufangen und durch glimpfliche und sanfte Mittel die Spannung zu heben zu suchen. Die Wirkung derselben hat schon XXIII, C, 15 Min. nach B genommen, angefangen. Bei ┌┐1 und ┌┐2 Töne der Stimmgabel, deren Einflufs unverkennbar ist. Endlich schien die V-P so weit gekommen zu sein, dafs man normale Reaktionen erhalten könnte, indem das Volumen sich nun längere Zeit hindurch mit hohen Pulsen hielt. XXIII, D zeigt dies. Bei ↖ 1 wurde die Rechenaufgabe 11×21 gegeben, und sogleich erscheinen die normalen Äufserungen der Konzentration der Aufmerksamkeit. Bei ↖ 2 sagte die V-P jedoch: »Das kann ich nicht ausrechnen.« Ziemlich unwirsch rief ich aus: »Ach! rechne doch nur los, das Fazit ist ja gleichgültig.« Bei ↖ 3 kam die Antwort. Wo ein derartiges Intermezzo stattgefunden hat, darf man natürlich nicht erwarten, einen reinen Ausdruck der psychischen Arbeit zu finden; nach deren

Aufhören findet sich denn auch entschiedene Spannung, die erst eben am Schlusse der Kurve verschwindet. Vergleicht man aber XXIII, D mit XXIII, B, wo die Reize gleicher Art waren, so ist in D doch ein bedeutender Fortschritt zur normalen Reaktionsweise, die wir im Vorhergehenden, Tab. XV—XVII, kennen lernten. Die Messung von XXIII, D gibt auch die bekannten Pulsveränderungen:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	5	4	7	10	20
Länge . . .	6,6	5,1	7,0	5,9	6,8

Aus allen diesen Versuchen mit abwechselnden Resultaten geht nun unzweifelhaft hervor, dafs die V-P nur ausnahmsweise in normalem Gleichgewicht des Gemüts war, während ein andrer Gemütszustand durchweg vorherrschte. Dafs dieser andre Zustand Spannung oder Erwartung war, ist dagegen durchaus nicht dargethan; dies ist vorläufig nur eine wenn auch recht natürliche Annahme. Ihre Richtigkeit läfst sich indes mit Sicherheit auf die Weise feststellen, dafs man erst die V-P in normales Gleichgewicht des Gemüts bringt, darauf durch angemessene Mittel eine Spannung erzeugt, deren sie sich unvermeidlich bewufst werden mufs; sind die körperlichen Äufserungen dieses Zustands mit den früher beobachteten identisch, so kann wohl kaum noch Zweifel herrschen. Diesen Beweis führte ich noch an demselben Abend.

Tab. XXIV. A u. B. 15/4 96 abends. P. L. vorsätzlich hervorgerufene Spannung. B die unmittelbare Fortsetzung von A.

Der Anfang von XXIV. A zeigt, dafs die V-P hier völlig normal ist: es findet sich freilich ein augenblicklicher Anlauf zur Spannung, der sich jedoch glücklicherweise verliert. Bei 1 sagte ich: »Bereite dich nun auf etwas weniger Ansprechendes vor.« Eine deutliche Wirkung hatten diese Worte nicht, und ich strich deshalb bei 2 hinter dem Rücken der V-P ein Zündhölzchen an. Sogleich tritt eine andauernde Senkung des Volumens mit kleinen Pulsen ein, und da ich also meine Absicht erreicht hatte, sagte ich bei 3: »Nein, es geht nicht; es will nichts geschehen.« XXIV, B zeigt nun

Digitized by Google

ein langsam steigendes Volumen mit immer höheren Pulsen. Die V-P gab an, sie habe wirklich erwartet, ich würde sie mit dem Zündhölzchen brennen; kurz nachdem ich zum letztenmal gesprochen habe, sei sie aber vollkommen ruhig geworden.

Einen ganz ähnlichen Versuch hatte ich mit demselben Erfolg einen Monat vorher mit dem Dr. H. angestellt, bei dem ich nie eine von selbst entstandene Spannung bemerkt hatte. Da er an jenem Abend etwas unpäfslich war, ist das Experiment nicht so befriedigend, wie es hätte sein können, aber das Entscheidende: die starke, anhaltende Volumsenkung mit kleinen Pulsen tritt deutlich hervor. Ich gebe es deshalb wieder:

Tab. XXIV, C u. D. $^{20}/_{3}$ 96 abends. Dr. H. vorsätzlich hervorgerufene Spannung. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Bei ⋀ 1 sagte ich nur: »Geben Sie nun acht.« Darauf gofs ich, ohne dafs die V-P es sah, Wasser in ein Glas, zündete ein Streichhölzchen an, das ich ein wenig später ins Wasser warf, wo es stark zischte, u. s. w. Diese verschiedenen Operationen nahmen die Zeit bis ⋀ 2 in der Kurve D in Anspruch, wo ich bemerkte: »Es geschieht nichts.« Von hier an steigt das Volumen anfangs geschwind, später langsam mit fortwährend anwachsender Pulshöhe. Die Übereinstimmung dieses Versuches mit dem vorigen ist nicht zu verkennen. Als ich den Dr. H. nach seinem Gemütszustande während des Experiments fragte, erhielt ich zur Antwort: »Bange war mir nicht, denn ich war gleich darüber im reinen, dafs das Ganze ein Experiment war; man ist ja aber nie sicher, was Ihnen einfallen kann, so dafs ich natürlich etwas darauf gespannt war, was nun geschehen würde.«

Nach den lehrreichen Versuchen mit P. L. wurde vieles, was mir bei früheren Gelegenheiten rätselhaft gewesen war, auf einen Schlag ganz klar. Nicht so selten war es bei verschiedenen Versuchspersonen gekommen, dafs sie plötzlich und anscheinend unmotiviert auf anormale Weise reagierten. Indem ich den ganzen Verlauf dieser Kurven untersuchte, fand ich nun in vielen Fällen, dafs ein Zustand der Spannung eingetreten war, der die abweichenden Reaktionen auf

Digitized by Google

natürliche Weise erklärte. Mehrere dieser Kurven werden im Folgenden an geeigneten Orten hervorgezogen werden. Überhaupt erwies sich die Spannung als ein Faktor, den man unablässig mitrechnen mufste, weil sie zu jeder beliebigen Zeit eintreten konnte, ohne dafs die V-P im allgemeinen im stande wäre, ihre Existenz mittels Selbstbeobachtung zu konstatieren. Dies war z. B. der Fall mit einer Versuchsperson, mit der ich gerade während der Zeit arbeitete, da die erwähnten Experimente mit P. L. stattfanden. Obgleich die Arbeit mit der betreffenden Person schon mehrere Monate lang gedauert hatte, war mir noch nicht ein einziges Mal eine normale Reaktion zu Gesichte gekommen. Ein typisches Beispiel gibt:

Tab. XXV, A. $^{21}/_{4}$ 96 vorm. C. J. Bei ⊓ Punktezählen.

Hier ist nur ein geringes Steigen des Volumens, wo man normal ein deutliches Sinken erwarten sollte. Die Ursache dieser verzweifelten Verhältnisse war jetzt gefunden: es war die Spannung, die hier ihr Wesen trieb. Sobald die Apparate appliziert wurden, geriet die V-P in einen chronischen Zustand der Spannung, der nicht eher aufhielt, als bis die Versuche wohl und glücklich beendigt waren; deswegen hatte ich nie den Übergang der Spannung in normales Gleichgewicht des Gemüts wahrgenommen, der glücklicherweise in P. L. eintraf. Nachdem der Zustand nun aber bekannt und die Mittel dagegen gefunden waren, fiel es mir nicht so schwer, die Spannung auch bei C. J. aufzuheben. Dies ist z. B. zu ersehen:

Tab. XXV, B. $^{2}/_{5}$ 96 nachm. C. J. Bei ⊓ ein schwacher, angenehmer Ton.

Das langsam steigende Volumen mit anwachsenden Pulsen ist ein unverkennbares Anzeichen, dafs die Spannung aufgehört hat. — Auch in mir selbst war dann und wann Spannung vorhanden, wenn ich als V-P fungierte. Dies trat immer ein, wenn minder geübte Personen die Apparate bedienen sollten. Die Spannung machte sich dann gewöhnlich vor dem Anfang der Versuche geltend, bis der Kymograph in guten Gang gekommen und fernere Fehler somit ausgeschlossen waren; dann hörte sie von selbst auf, meldete sich aber häufig

Digitized by Google

wieder kurze Zeit darauf. Unter solchen Verhältnissen war ich als V-P unmöglich, und ich gab viele sonderbare Beweise eines wechselnden Gemütszustandes zum besten. Ein paar Kurven werden das Verhältnis erhellen:

Tab. XXV, C. $^{31}/_{3}$ 96 nachm. A. L. Die Spannung hört auf.

Tab. XXV, E. $^{4}/_{7}$ 96 nachm. A. L. Wiederholter Wechsel normalen Gleichgewichts des Gemüts mit Spannung.

Den Gegensatz dieses wechselnden Zustandes bildet eine andere Erscheinung, die mit demselben nicht verwechselt werden darf. Diese äufsert sich ebenfalls durch ein Steigen des Volumens, welches Steigen gewöhnlich jedoch weit bedeutender ist als das bei der Beseitigung der Spannung; aufserdem wächst die Pulshöhe garnicht oder allenfalls ganz unbedeutend. Sie zeigt sich nur, wenn die V-P viel gesprochen hat, unmittelbar bevor der Kymograph in Gang gesetzt wird, und ist folglich weiter nichts, als die Reaktion nach der Volumsenkung, die jede psychische Thätigkeit erzeugt. Ich habe die Erscheinung nur in Kurven gefunden, die an mir selbst genommen sind, was recht verständlich ist, da andere V-Personen nichts zu besprechen haben, während sie in den Apparaten sitzen, wogegen ich es nicht immer vermeiden kann, in irgend einer Richtung Anleitung zu geben. Als Beispiel führe ich an:

Tab. XXV, D. $^{29}/_{9}$ 96 nachm. A. L. Reaktion nach einer Arbeit.

Höchst merkwürdig wäre es, wenn ein Zustand wie die Spannung, die in meinen Versuchen eine so grofse Rolle spielt, sich nicht auch in den Werken andrer Forscher nachweisen liefse. Natürlich ist es nicht möglich, zu beweisen, dafs in gewissen gegebenen Fällen Spannung vorhanden gewesen sei. Findet man aber, dafs eine V-P auf ganz anormale Weise gegen einen bestimmten Reiz reagiert hat, und stimmt diese Weise der Reaktion sonst mit dem überein, was sich gewöhnlich in ähnlichen Fällen während der Spannung zeigt, so wird der Schlufs aus derselben Wirkung auf dieselbe Ursache berechtigt. Jedenfalls ist eine solche Erklärung der Annahme weit vorzuziehen, dafs die anormale Reaktion etwas der betreffenden V-P Individuelles sei.

Digitized by Google

Letztere Annahme liegt allerdings sehr nahe. Die zahlreichen Kurven z. B., die Binet als Äufserungen psychischer Thätigkeit mitteilt[1], weichen in so vielen wesentlichen Punkten voneinander ab, dafs man fast zu der Annahme gezwungen wird, die Verschiedenheiten beruhten auf individuellen Eigentümlichkeiten. Hat man aber erst einmal gesehen, dafs viele Menschen in allem Wesentlichen auf dieselbe Weise reagieren, sofern sie sich nur in normalem Gleichgewicht des Gemüts befinden, so verliert man den Glauben an die individuellen Verschiedenheiten. Ich bin daher ganz überzeugt, dafs die Differenzen der Binetschen Kurven teils von Gemütsbewegungen herrühren, welche die allzu schwierigen Rechenaufgaben in seinen Versuchspersonen erzeugten, teils auch von Spannung in verschiedenen Stärkegraden. Namentlich Fig. 32[2] scheint mir aufser allen Zweifel gestellt zu sein. Vergleicht man sie mit der Tab. XXII, B wiedergegebenen Kurve, so wird man völlige Übereinstimmung erblicken. Binets Plethysmogramm hat ebenso wie das meine anfangs eine kleine Steigung mit grofsen Pulsen, worauf es sogleich wieder sinkt. Während der folgenden Rechenaufgabe findet sich in beiden Kurven ein Steigen des Volumens, dem ein Sinken bis zur Norm folgt. Schliefslich steigt Binets Kurve sanft mit grofsen Pulsen; der entsprechende Teil fehlt in der meinigen, dafs dieses Steigen aber ein typisches Anzeichen vom Aufhalten der Spannung ist, haben wir an mehreren Orten im Vorhergehenden gesehen. Ähnlicherweise sind unter Binets Kurven mehrere andere, welche deutliche Anzeichen der Spannung der V-P erblicken lassen. Ich erlaube mir deswegen, meine Ansicht festzuhalten, dafs alle diese Kurven durchaus keine individuellen Verschiedenheiten der Reaktionen anzeigen, sondern im Gegenteil darthun, dafs Herr Binet es nicht vermocht hat, Gemütsbewegungen von seinen Versuchspersonen fernzuhalten.

Auch Patrizi[3] hat Kurven mitgeteilt, welche die

[1] Binet et Courtier: Circulation capillaire. L'année psychologique II. S. 146 u. f.

[2] L. c. S. 154.

[3] Primi esperimenti intorno all' influenza della musica etc. Archivio de psichiatria. Vol. XVII, fasc. IV.

Digitized by Google

Annahme eines Spannungszustandes entschieden gestatten. Man sieht hier, daſs ein und derselbe Reiz, ein einzelner Ton, scheinbar ohne irgend einen Anlaſs auf die nämliche V-P höchst verschiedene Wirkungen üben kann. Bald bleibt das Volumen unverändert, bald steigt, bald sinkt es. Letzteres ist gewiſs eine normale Reaktion, die beiden ersten Fälle deuten dagegen auf Spannung verschiedener Stärke hin. die wiedergegebenen Kurvenstrecken sind leiderdessen jedoch so klein, daſs keine anderen Kennzeichen der Spannung zu finden sind. Von individuellen Verschiedenheiten kann hier glücklicherweise nicht die Rede sein, da die Kurven von einer und derselben V-P herrühren.

Bevor wir die Spannung verlassen, wird es von Interesse sein, noch einen Punkt zu untersuchen, den nämlich, wie es sich während dieses Zustands mit der Schlagzahl des Herzens verhält. Um dies zu erhellen, teile ich das Ergebnis der Messung mehrerer der früher erwähnten Kurven mit, welche den Übergang aus Spannung in normales Gleichgewicht des Gemüts zeigen. So z. B. Tab. XXII, D u. E:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l	l-m
Anzahl	3	5	5	8	38	6	3	8	11	16	13
Länge	4,1	6,2	5,6	5,1	5,2	4,6	6,0	4,2	5,1	5,2	5,1

Der Spannungszustand e-f zeigt die Pulslänge 5,2, der Normalzustand i-m zwischen 5,1 und 5,2. Für Tab. XXII, C hat man:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	5	3	18	2	4	17	8
Länge . .	4,9	6,1	4,9	5,3	5,5	4,7	5,0

Hier ist das Verhältnis wie 4,9 (c-d) zu 5,0 (g-h). Ein wenig abweichend stellt sich die Sache Tab. XXIII, C:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	10	8	6	7	13
Länge . . .	6,9	7,0	7,0	6,4	6,6

Hier ist deutliche Verlängerung, indem die Länge von durchschnittlich 7,0 während der Spannung bis auf 6,6 während des Normalzustandes sinkt. In der folgenden Kurve, Tab. XXIV, A u. B, findet dagegen das Umgekehrte statt, indem die Länge während der Span-

Digitized by Google

nung kürzer ist als im Normalzustande, sowohl vorher als hinterdrein:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	12	8	4	5	6	3	20	6	17
Länge .	6,6	6,3	6,3	5,8	5,3	6,6	6,4	6.6	7,0

Schliefslich erweist sich in der letzten Kurve, XXIV C u. D, kein wesentlicher Unterschied zwischen den Pulslängen während des normalen Zustands und den Pulslängen während der Spannung:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	7	11	3	2	5	5	4	14	6
Länge .	4,6	4,2	4,3	4,2	4,9	4,4	4,5	4,5	4,3

Phase .	k-l	l-m	m-n	n-o	o-p	p-q	q-r
Anzahl .	5	14	6	10	10	9	19
Länge .	4,5	4,4	4,8	4,5	4,3	4,3	4,4

Wir können nun das Resultat aller vorhergehenden Untersuchungen zusammenfassen:

Während der Spannung, der gespannten Erwartung, ist das Armvolumen stets vermindert mit geringer Pulshöhe. Übrigens ist der Zustand am besten an der Weise zu erkennen, wie die Reaktion gegen verschiedene Reize vorgeht. Ist die Spannung sehr stark, so wird ein äufserer Reiz gewöhnlich nur Veränderungen der Frequenz des Herzens hervorrufen, während das Volumen und die Pulshöhe ganz unverändert bleiben. Bei geringerer Spannung wird ein Reiz meistens ein Steigen des Volumens bewirken, das sich sogleich wieder verliert. Hält endlich die Spannung aus irgend einer Ursache auf, so steigt das Volumen langsam mit wachsenden Pulshöhen. Eine konstante Veränderung der Frequenz des Herzschlags wird nicht durch die Spannung erzeugt; die Pulslänge kann bald gröfser, bald kleiner als die Norm sein, weicht aber stets nur wenig von dieser ab.

Der Wechsel und der wechselseitige Einflufs der Aufmerksamkeitszustände. Um die Äufserungen der

Digitized by Google

einzelnen Aufmerksamkeitszustände kennen zu lernen, betrachteten wir im Vorhergehenden eine Reihe extremer Fälle, wo die verschiedenen Zustände, so weit möglich, voneinander isoliert waren. So entschieden kommen die einzelnen Zustände aber ja keineswegs immer im täglichen Leben vor; oft gleitet der eine sanft in den andern hinüber. Eine unwillkürliche Fesselung der Aufmerksamkeit braucht nicht notwendigerweise den Charakter des Erschreckens zu tragen, sie kann ebensogut einen weniger gewaltsamen Verlauf nehmen, und ein willkürliches Lenken der Aufmerksamkeit braucht keine komplizierte psychische Arbeit zum Gegenstand zu haben. Sehr oft wird ein einzelner Reiz damit anfangen, die Aufmerksamkeit unwillkürlich zu fesseln, die sich darauf dem Wahrgenommenen zukehren wird, weil dieses in irgend einer Richtung für das Subjekt Interesse besitzt. Bei dergleichen minder entschiedenen Zuständen, die überdies ineinander übergleiten, darf man natürlich nicht erwarten, dafs die körperlichen Äufserungen sich scharf markiert zeigen sollten. Dies bestätigt denn auch die Erfahrung. Bei schwachen, kurzen Reizen wird die der unwillkürlichen Aufmerksamkeit charakteristische Pulsverlängerung allerdings durchweg vorherrschend sein, wie zu erwarten stand; dies schliefst aber nicht aus, dafs eine etwas stärkere Konzentration der Aufmerksamkeit dann und wann eine Pulsverkürzung bewirkt.

Zur Beleuchtung dieser Verhältnisse gebe ich eine Reihe von Kurven wieder, die fast alle Schattierungen der Reaktionen, welche ich unter meinem Material zu finden vermochte, repräsentieren. Vorläufig betrachten wir nur solche Fälle, wo die V-P sich in normalem Gleichgewicht des Gemüts (ohne Spannung) befand, und wo die durch den Reiz hervorgerufenen Empfindungen möglichst unbetont, gefühllos waren. Schwache Gefühlstöne sind allerdings nicht ganz zu vermeiden, und ich habe deshalb Sorge getragen, dafs die wiedergegebenen Kurven die beiden Arten der Betonung ziemlich gleichmäfsig umfassen. Wie wir sehen werden, scheint eine solche geringe Betonung auf die körperlichen Äufserungen ganz ohne Einflufs zu sein. In allen Fällen kam der Reiz plötzlich, ohne vorhergehende Benachrichtigung von dem Zeitpunkte oder der Art des Reizes.

Digitized by Google

Tab. XXVI, A. $^{16}/_{9}$ 96 abends. Dr. N. Harmonische Intervalle.

Bei ⊓ 1 wurden mittels eines Appunschen Tonmessers die Töne 256 und 384 gleichzeitig erzeugt; bei ⊓ 2 auf dieselbe Weise die Töne 384 und 512. In beiden Fällen gab der ziemlich musikalische Dr. N. an, er habe den Intervallen seine Aufmerksamkeit zugewandt, um zu hören, ob sie rein seien. Das Volumen zeigt die gewöhnlichen Schwankungen, die jede entschiedene sowohl passive als aktive Konzentration der Aufmerksamkeit begleiten; die Messung gibt indes kein reines Resultat, jedenfalls keine Pulsverkürzung nach dem ersten Reiz.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i
Anzahl . .	20	3	3	10	7	3	6	15
Länge . . .	4,6	4,7	5,1	4,5	4,5	4,8	4,5	4,3

Tab. XXVI, B. $^{12}/_{11}$ 96 nachm. A. L. Schwacher, anwachsender Ton. Plethysmogramm des linken Arms, rechter Radialispuls.

Von willkürlicher Aufmerksamkeit ist hier wohl kaum die Rede; die Messung zeigt auch vorwiegende Verlängerung:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . . .	13	3	5	9	6	7	12
Länge	5,3	5,1	5,6	5,3	5,8	4,9	5,2

Tab. XXVI, C u. D. $^{25}/_{11}$ 95 abends. A. L. Verschiedene schwache und unerwartete Reize. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Bei ⊓ 1 ein schwacher Ton, der freilich sehr unerwartet kam, jedoch entschieden kein Erschrecken bewirkte. Inwiefern dieser kurze Reiz eine willkürliche Konzentration der Aufmerksamkeit veranlafste, findet sich nicht aufgezeichnet; die Messung zeigt die charakteristischen Pulsveränderungen der willkürlichen Aufmerksamkeit. Bei ⊓ 2 ein wenig Rasseln mit Metallplatten; hier ist keine Veränderung des Volumens, sondern nur Pulsverlängerung zu sehen. Bei ⊓ 3 wurde die V-P schwach am Ohr gezupft, wodurch wieder eine kennbare Pulsverlängerung ohne Volumveränderung eintritt.

Digitized by Google

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l	l-m
Anzahl	14	2	4	4	15	4	6	8	12	10	12
Länge	6,3	5,5	6,2	6,0	6,1	6,5	6,5	6,4	6,7	6,9	6,9

Das Interessante dieser drei Versuche ist, dafs sie zeigen, wie die Gefühlsbetonung der hervorgerufenen Empfindungen auf die Reaktion ohne Einflufs bleibt. Der erste Ton war seiner Natur zufolge zunächst angenehm, das Rasseln der Metallplatten durchaus indifferent, das Zupfen am Ohr schwach unangenehm. Nichtsdestoweniger bewirkt der Ton eine Pulsverkürzung, die sonst den starken Unlustgefühlen charakteristisch ist, und die beiden andern Reize, deren einer unangenehm war, geben nur Pulsverlängerung. Die Betonung ist bei dergleichen schwachen Reizen also ohne Belang, der Zustand der Aufmerksamkeit dominiert vollständig. — Die eigentümliche Pulsverlängerung ohne Volumschwankungen treffen wir in den drei Kurvenreihen der Tab. XXVII mehr oder weniger ausgeprägt wieder an.

Tab. XXVII, A. 8/10 96 nachm. A. L. Tiefer, angenehmer Ton.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	17	2	5	11	17
Länge . . .	5,7	5,8	6,1	5,9	5,7

Tab. XXVII, B. 29/10 96 nachm. A. L. Angenehmer Ton. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Hier findet sich angezeigt, dafs der Ton eben die Aufmerksamkeit anzog, indes durchaus keine willkürliche Anspannung hervorrief; Volumschwankungen fehlen gänzlich, die Pulsverlängerung ist ausgeprägt.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	7	4	6	8	21
Länge . . .	6,1	6,8	6,4	6,4	6,4

Tab. XXVII, C. 2/11 96 vorm. J. N. Hoher, aber schwacher Ton. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	22	7	4	9	13
Länge . . .	5,4	5,3	5,6	5,4	5,6

Das Resultat dieser verschiedenen Versuche wird also zunächst folgendes:

Digitized by Google

Während normalen Gleichgewichts des Gemüts werden die körperlichen Äufserungen schwacher und nicht zu anhaltender Reize von der Gefühlsbetonung der hervorgerufenen Empfindungen unabhängig und nur durch den Zustand der Aufmerksamkeit bestimmt sein. Ist die Aufmerksamkeit eine rein unwillkürliche, ohne irgend welche aktive Anspannung, so erscheinen keine Volumveränderungen, nur Pulsverlängerung. Bewirkt der Reiz dagegen auch einige willkürliche Aufmerksamkeit, so erscheinen die diesem Zustande charakteristischen Volumschwankungen, aber mit durchgängiger Pulsverlängerung, die in gewissen Fällen jedoch auch in Pulsverkürzung übergehen kann, möglicherweise wenn die aktive Aufmerksamkeit mehr vorherrschend ist.

Diese Reaktionen sind nicht ohne Bedeutung, weil sie zu denjenigen, die sich während der Spannung zeigen, in entschiedenem Gegensatze stehen. In diesem Zustande können sich bekanntlich ganz dieselben Verhältnisse geltend machen, die wir hier unter Voraussetzung des normalen Gleichgewichts des Gemüts behandelt haben. Selbst wenn man in Spannung etwas erwartet, kann es, wie man weifs, sehr wohl geschehen, dafs anderweitige Reize unwillkürlich die Aufmerksamkeit zu fesseln und von dem Erwarteten abzulenken vermögen. Besitzt das Wahrgenommene nun zufälligerweise einiges Interesse, so wird auf die erste, passive Veränderung der Aufmerksamkeit leicht eine aktive folgen können. Während dies alles geschieht, wird die Spannung sich entweder vollständig verlieren, indem das Erwartete einen Augenblick lang vergessen wird, oder auch bleibt die Spannung dämmernd im Bewufstsein zurück. Die Möglichkeit hiervon ist in dem Umstande gegeben, dafs die Aufmerksamkeit sich teilen oder zerstreuen läfst; man kann sehr wohl dem Gegenwärtigen einen Teil seiner Aufmerksamkeit schenken, während der übrige Teil etwas noch nicht Vorliegendem, dessen Eintreffen erwartet wird, zugewandt ist. Die Verhältnisse müssen also recht kompliziert werden können, indem die Möglichkeit einer Menge von Kombinationen gegeben ist. Dies kommt

Digitized by Google

auch in den Kurven zum Ausdruck, da man in einer einzigen Reaktion charakteristische Äufserungen verschiedener Zustände der Aufmerksamkeit nebeneinander finden kann, deren bald der eine, bald der andere die Oberhand hat.

Bevor ich dazu schreite, dies in den Kurven nachzuweisen, mufs ich nur eine einzelne Bemerkung machen. Es wird nicht leicht zu vermeiden sein, im Folgenden von stärkerer und schwächerer Spannung zu reden. Nun kann die V-P, wie wir sahen, selten ihren Zustand erklären, geschweige denn die Stärkegrade angeben: an ihrer Selbstbeobachtung haben meine postulierten graduellen Unterschiede folglich nie eine Stütze. Es kommt mir dennoch berechtigt vor, diese Variationen anzunehmen. Die Spannung verrät sich, wie wir wissen, durch zwei leicht zu erkennende Anzeichen: kleines Volumen und kleine Pulse. Sieht man nun in einer Reihe von Versuchen mit einer gegebenen V-P, dafs diese beiden Faktoren alle möglichen Gröfsen durchlaufen, von einem Maximum an, wo die V-P als normaler Mensch reagiert, bis zu einem Minimum, wo ein anormaler Gemütszustand nicht zu bezweifeln ist, so ist es wohl kein gewagter Schlufs, dafs den wahrgenommenen Quantitätsunterschieden auf dem physischen Gebiete Intensitätsunterschiede auf dem psychischen Gebiete entsprechen. Wie wir später sehen werden, ist dieser Parallelismus auf einem Gebiete, wo die Selbstbeobachtung eine ziemlich feine Beurteilung der Stärkegrade des subjektiven Zustands gestattet, vollkommen stichhaltig; prinzipiell werden sich wohl also keine Einwürfe dagegen erheben lassen, dafs wir ihn auch hier, wo die Selbstbeobachtung versagt, voraussetzen. Wir werden gleich in der folgenden Kurve ein Beispiel hiervon sehen.

Tab. XXVIII, A. 25/10 96 nachm. P. L. geringe Spannung. Bei [illegible] schwache Berührung des Ohrs.

Die unmittelbar vorhergehende, hier nicht wiedergegebene Kurvenstrecke zeigt ein sehr kleines Volumen nebst kleinen Pulsen. Gleich zu Anfang unserer Kurve sieht man das Volumen steigen und den Puls höher werden. Dafs hier noch Spannung vorhanden ist, schliefse ich aus der bei Spannungszuständen so wohlbekannten eigentümlichen Reaktion, indem der schwache

Digitized by Google

Reiz ein Steigen des Volumens bewirkt, das sich jedoch sogleich wieder verliert. Unmittelbar darauf sieht man, dafs das Volumen bei anwachsender Pulshöhe wieder sanft steigt, ein Zeichen, dafs die völlig normale Höhe des Volumens und des Pulses nicht erreicht ist, dafs also noch einige Spannung zurück war. Auf analoge Weise ziehe ich im Folgenden Schlüsse über die Stärke des Zustands, so dafs wir uns wohl nicht länger hiermit aufzuhalten brauchen.

Dafs die in der Kurve XXVIII, A gezeigte Reaktion gegen den Reiz nun wirklich als eine Kombination der Spannung und der unwillkürlichen Aufmerksamkeit aufzufassen ist, das nachzuweisen ist nicht schwer. Wie oben erwähnt, kann die Aufmerksamkeit sich freilich in verschiedenen Richtungen zerstreuen, hierdurch wird erfahrungsgemäfs jedoch auch die Stärke geschwächt, womit sie in den einzelnen Richtungen wirkt; sie ist nicht im stande, mit voller Stärke an mehreren Punkten zugleich zu wirken. Wenn jemand also in Spannung ist, seine Aufmerksamkeit irgend etwas Bestimmtem oder Unbestimmtem, dessen Eintreten erwartet wird, zugekehrt hat, so kann ein äufserer Reiz nicht einmal vorübergehend die Aufmerksamkeit fesseln, ohne diese zu zerstreuen, oder mit andern Worten: die bestehende Spannung mufs sich vermindern. Nun verrät sich die Spannung, wie wir wissen, durch kleines Volumen und geringe Pulshöhe; bei Verminderung der Spannung sehen wir das Volumen überall mit gröfseren Pulshöhen anwachsen. Wenn also ein äufserer Reiz die Aufmerksamkeit fesselt und mithin die Spannung vorübergehend vermindert, so mufs dies sich natürlich durch vorübergehende Volumsteigung mit wachsenden Pulshöhen kundgeben. Aber gerade dies sehen wir überall, wo ein äufserer Reiz während der Spannung überhaupt körperliche Äufserung hervorbringt. So zeigt die erwähnte Kurve unmittelbar nach dem Reize eine vorübergehende Volumsteigung mit etwas gröfseren Pulsen; dies ist also der Ausdruck für die Verminderung der Spannung. Zugleich gewahren wir die der passiven Aufmerksamkeit charakteristische Pulsverlängerung. Die Messung gibt nämlich:

Digitized by Google

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	18	3	5	20
Länge	5,3	5,0	6,1	6,0

Daſs ein schwacher Reiz doch keineswegs stets die Verlängerung des Pulses bewirkt, ist aus den beiden folgenden Kurven zu ersehen:

Tab. XXVIII, B u. C. 2/5 96 nachm. C. J. Anfangs starke, später schwächere Spannung. Bei ⊓1, ⊓2 und ⊓3 schwache Töne. C ist die unmittelbare Fortsetzung von B.

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl	33	3	18	6	10	12	2	6	7	17
Länge .	5,3	5,3	5,2	5,1	5,0	5,1	5,0	5,2	5,0	5,4

Hieraus geht hervor, daſs die ersten beiden Reize eigentlich gar keinen Einfluſs haben; sie verändern weder das Volumen, noch die Pulslänge, von einer äuſserst geringen, doch wohl kaum zufälligen Verkürzung abgesehen. Nach ⊓2 beginnt das Volumen indes mit wachsender Pulshöhe zu steigen, und der dritte Reiz, der also eintrifft, nachdem das Abnehmen der Spannung angefangen hat, bewirkt nun die Verlängerung des Pulses. Ein ähnlicher Übergang, aus geringer Spannung in den normalen Zustand, ist in den beiden folgenden Kurvenreihen ersichtlich:

Tab. XXVIII, D u. E. 29/10 96 nachm. Dr. B. Geringe, schlieſslich verschwindende Spannung. Wiederholte schwache und kurze Töne. Volumen des linken Arms, rechte Radialis. E ist die unmittelbare Fortsetzung von D.

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl	31	2	2	15	2	2	14	13	3	9
Länge .	3,7	3,7	3,9	4,2	4,5	3,8	4,4	4,5	4,3	4,6

Phase . .	l-m	m-n	n-o	o-p	p-q
Anzahl . .	6	13	8	7	10
Länge . .	4,4	4,8	4,8	4,9	4,4

Bei ⊾1 und ⊾2 in D bewirken die äuſserst kurzen Reize nur kleine Volumsteigungen, die sich bei anwachsenden Pulshöhen fortsetzen, ein Anzeichen also, daſs eine geringe Spannung vorhanden ist; beide Reize haben auſserdem Pulsverlängerung im Gefolge. An-

Digitized by Google

fangs E ist der Zustand als normal zu betrachten; die Wiederholung der Reize bei ⊓1 und ⋀2 bewirkt nun Volumsenkungen ohne hervortretende Pulsverlängerung. — Noch ein andres Beispiel geben wir zur Erhellung des Einflusses, welchen Spannung verschiedener Stärke auf die Reaktionen übt:

Tab. XXIX, A u. B. 10/9 96 nachm. P. L. Anfangs starke, später schwache Spannung; bei ⊓1 und ⊓2 schwache Töne einer Stimmgabel von ungefähr derselben Dauer. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	20	4	6	11	26	3	6	4	22
Länge .	4,6	4,5	4,6	4,2	4,7	4,3	5,2	4,8	5,2

Das Eintreten der Spannung verrät sich sogleich im Anfang von A durch starke Volumsenkung und geringe Pulshöhe. Der Zustand ist ausgeprägt; der erste Reiz hat einen kaum merkbaren Einfluſs auf das Volumen, wie denn auch die Pulslänge in den Phasen a-b und b-d kaum verschieden ist. Der Reiz hat aber doch den Einfluſs, daſs die Spannung geringer wird; das Volumen steigt, die Pulshöhe wächst. Im Anfang von B ist das Volumen bedeutend höher als während der starken Spannung (die Nullinie ist 7 mm gehoben. vgl. die Tafel), und der nächste Reiz, von derselben Art, Stärke und Dauer wie der erste, hat nun eine ganz andere Wirkung. Es kommt eine merkbare, vorübergehende Volumsteigung und nach den drei ersten Pulsschlägen entschiedene Pulsverlängerung. Wir sehen hier also wieder, wie das Anzeichen der ferneren Verminderung der schwachen Spannung, das vorübergehende Steigen des Volumens nämlich, mit der Pulsverlängerung der passiven Aufmerksamkeit kombiniert wird.

Diese Kombination der Äuſserungen findet man nun nicht allein bei schwachen Reizen; Tab. XXI—XXIII geben deutliche Beispiele, daſs das nämliche unter sehr verschiedenen Verhältnissen stattfindet. Vorläufig interessiert uns nur das Zusammenspiel der verschiedenen Aufmerksamkeitszustände; ich sehe deshalb von denjenigen Fällen ab, wo starke Gefühle vorhanden waren, und betrachte nur die Kurven, in welchen aktive Auf-

Digitized by Google

merksamkeit, psychische Arbeit, sich Ausdruck gab. Dies ist z. B. der Fall mit XXII, B. Die Messung gibt:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	17	4	6	22
Länge	4.6	4,1	4,5	4,0

Hier bewirkt die psychische Arbeit unzweifelhaft Pulsverkürzung, während die charakteristische Steigung des Volumens bei Verminderung der Spannung in der Kurve angedeutet erscheint. Ganz konstant ist dieses Resultat jedoch nicht; in XXIII, B, wo die Arbeit länger anhielt und wahrscheinlich auch schwieriger war, findet sich freilich die gewöhnliche Volumveränderung der verminderten Spannung, dagegen aber auch Pulsverlängerung.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	21	6	9	8	8
Länge . . .	5,6	4,9	6,0	5,8	6,2

Anderseits findet man, dafs sogar das Erschrecken, das unter normalen Verhältnissen Pulsverlängerung gibt, während extremer Spannung dagegen Pulsverkürzung erzeugt. Dies geht z. B. aus den beiden Versuchen Tab. XXI, C u. D hervor. Man hat:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	16	3	5	7	17	24	4	8	6
Länge .	5.5	5,0	5,6	4,9	5,1	5,5	4,8	5,5	4,8

Fafst man b-f zusammen, so zeigt diese Phase entschiedene Verkürzung im Gegensatz zu a-b; dasselbe gilt von g-k mit f-g verglichen. Bedenkt man nun zugleich, wie wir oben fanden, dafs schwache Reize während sehr starker Spannung anfänglich auch eine geringe Pulsverkürzung bewirken, so scheint diese die allgemeine Äufserung jedes Reizes während extremer Spannung zu sein; wird die Spannung aber schwächer, so tritt als Reaktion gegen die Reize konstant eine Pulsverlängerung ein.

Schliefslich gebe ich noch ein paar Kurven, welche die Äufserungen des Erschreckens während Spannung von verschiedener Stärke zeigen; auch aus diesen ist sehr wohl zu ersehen, wie die Wirkungen des Aufhörens des bestehenden Zustands mit den durch den neuen

Digitized by Google

Zustand erzeugten körperlichen Äufserungen kombiniert werden.

Tab. XXIX, C. ¹²/₁₁ 96 nachm. P. L. Spannung, mittels des durch einen Schufs bewirkten Erschreckens gehoben. Plethysmogramm des linken Arms.

Die Kurve zeigt die bekannten Volumveränderungen mit geringer Modifikation. Bei ⋎, wo der Schufs fiel, zeichnet der gewaltige Chok sich in der Respirations- wie auch in der Volumkurve als kleine Unregelmäfsigkeiten ab; zugleich beginnt das Volumen zu steigen und sinkt darauf wieder, doch nicht ganz bis zum vorigen Niveau, indem die Senkung in sanftes Steigen mit wachsenden Pulshöhen übergeht. Diese merkwürdige Kurve wird eben zu stande kommen, wenn man die durch das Aufhören der Spannung und die durch das Erschrecken hervorgebrachten normalen Volumveränderungen als zwei gleichzeitige interferierende Bewegungen betrachtet. Fig. 6 zeigt dies. *ab* ist das ursprüngliche Niveau des Volumens. An dem Punkte *b* machen sich nun zwei Tendenzen geltend, eine aufgehobene Spannung, die für sich allein die Steigung *bg* hervorbringen würde, und ein Erschrecken, das für sich allein die Schwingung *bx* geben würde. Setzt man nun die in jedem Momente thätigen Kräfte zusammen, so resultiert die Volumveränderung *beg*, eben die von der Tafel gezeigte. So wie die Ordinaten in der Figur gewählt sind, kommt der Punkt *e* nicht auf das ursprüngliche Niveau herab, wie es mit dem übereinstimmt, was wir in der Tafel sehen. Denkt man sich nun aber, dafs die Steigung *bg* weniger schroff wird, z. B. die Richtung *bh* erhält, so mufs der Punkt *e* unter das ursprüngliche Niveau gelangen. Einen solchen Fall sieht man:

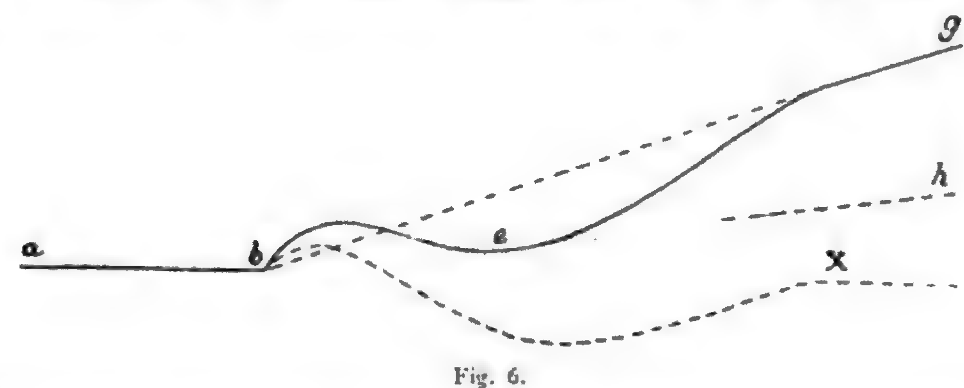


Fig. 6.

Tab. XXIX, D. 12/11 96 nachm. P. L. Spannung durch Erschrecken über einen Schufs gehoben. Plethysmogramm des linken Arms.

Die Kurve wurde 4 Min. nach C genommen; in der Zwischenzeit wurden mehrere Versuche angestellt, die V-P bekam aber fortwährend schwache Anwandlungen von Spannung. Diese ist jetzt doch geringer als vorher, das Volumen ist gröfser (die Nulllinie 6 mm gehoben, vgl. die Tafel) und die Pulse sind höher. Wenn das Volumen nun, indem die Spannung aufgehoben wird, bis zur Norm steigt, kann die Steigung nicht so stark werden wie im vorhergehenden Falle; sie wird also zunächst *bh* der schematischen Figur entsprechen. Hiermit stimmt es überein, dafs die normalen Äufserungen des Erschreckens in diesem Falle mehr hervortreten als im vorhergehenden: die Kurve sinkt bis unter das ursprüngliche Niveau. In beiden Kurven sind ebenfalls die gewöhnlichen Pulsveränderungen des Erschreckens zu sehen. XXIX, C zeigt:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	26	3	3	7	7	5
Länge . . .	5,9	4,3	6,2	6,3	5,0	5,8

Für XXIX, D gibt die Messung folgendes Resultat:

Phase. .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl .	24	3	2	7	11	4	5
Länge .	5,3	4,7	7,3	5.6	4,9	5,1	5,2

Dafs wir nicht überall ähnliche Konstruktionen, wie die Fig. 6 gezeigte, ausführen können, rührt ausschliefslich von dem Umstande her, dafs wir gewöhnlich nicht wissen, wie lange die Verminderung der Spannung während des Einflusses irgend eines Reizes andauert. Natürlich kann man sich eine Hypothese bilden und danach ein Schema anfertigen, das völlig mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Dies ist aber durchaus ohne Interesse, denn selbstverständlich läfst sich jede Welle stets als die Resultante zweier gleichzeitiger, interferierender Wellen konstruieren. Was XXIX, C u. D Bedeutung gibt, ist gerade der Umstand, dafs wir hier keine Hypothesen zu bilden brauchen; wir wissen, dafs die V-P erschrak, und dafs ihre Spannung somit vollständig aufhielt. Ebenfalls wissen wir, welche Volum-

Digitized by Google

veränderung jede dieser Ursachen für sich hervorbringen würde, unsre Konstruktion enthält folglich durchaus nichts Hypothetisches. Haben wir nun aber gesehen, dafs eine solche Konstruktion sich durchführen läfst, wenn wir die erforderlichen Data in der Hand haben, so darf man wohl die Hypothese aufstellen, dafs das Nämliche in allen Fällen möglich sein würde, wenn uns nur die Aufmerksamkeitszustände des Individuums im gegebenen Moment genau bekannt wären. Die vorliegenden Erfahrungen scheinen durchweg die Richtigkeit dieser Hypothese zu befürworten. Wenn wir z. B. bei maximaler Spannung fast gar keine Volumveränderung gewahren, so läfst sich dies als eine Folge davon erklären, dafs zwei gleichzeitig wirkende Kräfte sich gegenseitig aufheben. Der Reiz fesselt die Aufmerksamkeit und vermindert mithin vorübergehend die Spannung. Der neue Aufmerksamkeitszustand, er möge willkürliche oder unwillkürliche Konzentration sein, wird im allgemeinen ein kurzes Sinken des Volumens bewirken; die gleichzeitige Verminderung der Spannung wird ein vorübergehendes Steigen des Volumens veranlassen. Diese beiden, entgegengesetzte Richtung einschlagenden Bewegungstendenzen müssen sich in vielen Fällen gegenseitig aufheben können.

Während einer bestehenden Spannung wird jede neue Richtung der Aufmerksamkeit, sie sei nun willkürlich oder auch unwillkürlich bestimmt, durch eine Volumveränderung zum Ausdruck kommen, die als Resultante zweier gleichzeitiger Änderungstendenzen aufzufassen ist, nämlich 1° der Volumveränderung, welche die neue Konzentration der Aufmerksamkeit für sich allein hervorbringen würde, und 2° der Volumsteigung, welche eine Folge der gleichzeitigen Verminderung der Spannung ist. Bei maximaler Spannung heben die beiden Kräfte sich gewöhnlich gegenseitig auf, so dafs das Volumen annähernd unverändert bleibt; bei schwächerer Spannung gewahrt man ein vorübergehendes Steigen des Volumens, das bei fernerer Verminderung der Spannung einem Sinken weicht. Bei maxi-

Digitized by Google

maler Spannung wird eine Änderung der Aufmerksamkeit gewöhnlich von einer äufserst geringen Pulsverkürzung begleitet, bei schwächerer Spannung findet fast immer Pulsverlängerung statt.

Die Einstellung der Aufmerksamkeit. Im Vorhergehenden sahen wir, dafs willkürliche Anspannung der Aufmerksamkeit unter normalen Verhältnissen von Pulsverkürzung begleitet wird, während ein unwillkürliches Fesseln der Aufmerksamkeit Pulsverlängerung bewirkt. Dies ist nichts Neues; es wurde bereits von P. Mentz in seiner bekannten Abhandlung: »Die Wirkung akustischer Sinnesreize auf Puls und Atmung«[1] nachgewiesen, und überdies tritt bei ihm die Pulsverkürzung weit deutlicher hervor, als dies der Fall selbst mit meinen besten Kurven Tab. XV—XVII ist. Dies rührt von zwei Umständen her. Erstens hat Mentz die einzelnen Phasen der Variationen der Pulslänge, welche jede Richtungsänderung der Aufmerksamkeit begleiten, nicht erblickt; in einer dieser Phasen kann die Pulslänge während der Volumsenkung, wie wir sahen, häufig die Norm überschreiten. Mentz fafst alle diese Phasen zusammen, und dann wird das Resultat durchgängige Pulsverkürzung. Zweitens hat Mentz gewöhnlich eine anhaltendere Anspannung der Aufmerksamkeit von seinen Versuchspersonen verlangt als ich. Wie wesentlich dies ist, sahen wir S. 89—93, wo es sich erwies, dafs ganz kurze Anspannungen sehr geringe Verkürzung, und zwar nicht einmal immer, bewirkten. Natürlich konnte Mentz nicht umhin, zu beobachten, wie eine geringere Anspannung auch eine geringere Pulsverkürzung herbeiführt. Ausdrücklich sagt er: »Bei leichteren Multiplikationsaufgaben ist natürlich die Verkürzung eine geringere, und dann findet auch keine Zunahme derselben im Verlauf der Rechnung statt, da eben die Aufgabe rasch abgethan wird«[2]. Ist dem aber so, dann ist es höchst sonderbar, dafs Mentz bei einigen Versuchen, wo es die Aufgabe der V-P war, die Länge von zwei durch anhaltende Töne oder Metronomschläge markierten Zeiträumen zu vergleichen,

[1] Wundt: Phil. Studien Bd. XI. Leipzig 1895.
[2] L. c. S. 569.

Digitized by Google

entschiedene Veränderung der Pulslänge fand. Er findet hier konstant Pulsverlängerung während des ersten Reizes, Verkürzung während des zweiten, und erklärt dies als eine Folge davon, dafs die Aufmerksamkeit während des ersteren Zeitraums nur unwillkürlich gefesselt wird, während des letzteren aber angespannt werden mufs, um den Vergleich auszuführen[1]. Ich bezweifle die Möglichkeit, dafs man die Aufmerksamkeit so fein einstellen kann; jedenfalls habe ich in den Kurven keine Äufserung der kleinen Differenzen, von denen hier die Rede sein kann, zu finden vermocht. Mentz' Versuche habe ich oft wiederholt, aber weder irgend einer meiner Versuchspersonen noch mir selbst persönlich sind sie gelungen. Ich gebe ein paar Kurven wieder, die recht typisch zeigen, wie zweifelhaft dergleichen Versuche sind:

Tab. XXX, A. 25/2 96 nachm. A. L. Vergleich zweier Zeiträume, die durch gleichförmige Töne ausgefüllt wurden.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	11	3	4	11	2	6	10
Länge . . .	5.7	6.1	6.0	5.8	5.8	5,8	5,8

Während des ersten Reizes, Phase b-d, findet sich hier allerdings eine Pulsverlängerung, der zweite hat jedoch gar keinen Einflufs. In der nächsten Kurve ist das Verhältnis umgekehrt:

Tab. XXX, B. 25/2 96 nachm. A. L. Vergleich zweier Zeiträume, die durch gleichförmige Töne ausgefüllt wurden.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	11	6	15	4	4	6	5
Länge . . .	5,7	5,7	5,5	5,6	5,3	6,0	5,2

Hier ist eine geringe Pulsverkürzung als Folge des letzten Reizes, indem Phase e-h durchschnittlich 5.5 gegen 5,6 in der Phase d-e zeigt; während des ersten Reizes geschieht aber gar keine Veränderung. Da Mentz nicht angibt, wie viele Versuche dieser Art er angestellt hat, ist es unmöglich, zu entscheiden, ob seine »konstanten« Resultate etwas mehr sind als ein paar einzelne glückliche Zufälligkeiten.

[1] L. c. S. 564.

DIE GEFÜHLE.

Unlustzustände. Im Vorhergehenden untersuchten wir ausschliefslich diejenigen körperlichen Äufserungen, welche teils andauernde Zustände der Aufmerksamkeit, teils Änderungen der Richtung der Aufmerksamkeit begleiten. Wir suchten hierbei den Einflufs des Bewufstseinsinhalts, auf den die Aufmerksamkeit notwendigerweise gerichtet sein mufs, zu eliminieren. Dafs eine solche Elimination gelungen ist, scheint denn auch daraus hervorzugehen, dafs wir ziemlich konstante Reaktionen erhielten, wie die Beschaffenheit der angewandten Reize und die Gefühlsbetonung der hierdurch erzeugten Bewufstseinszustände auch waren; hierbei ist jedoch zu beachten, dafs eben die Gefühlsbetonung stets nur eine schwache war. Sobald diese nämlich stärker wird, treten neue Erscheinungen auf, so dafs die Reaktion kein reiner Ausdruck der Änderung der Aufmerksamkeit wird. Die der Gefühlsbetonung charakteristischen Äufserungen werden wir nun im Folgenden auseinandersetzen, und zwar untersuchen wir vorerst die Unlustzustände, so wie diese bei Individuen zum Vorschein kommen, die sich anfänglich in normalem Gleichgewicht des Gemüts befinden.

Nimmt man eine Reihe von Kurven vor, die unter dem Einflusse verschiedener unlusterregender Reize aufgezeichnet sind, so sieht man sofort, dafs die Gefühlsbetonung eine gewisse, nicht unbeträchtliche Stärke erreichen mufs, damit die Reaktion von derjenigen, welche die blofse Änderung der Aufmerksamkeit kennzeichnet, überhaupt abweichend wird. Ein Beispiel gibt:

Tab. XXX, C. $^{26}/_{10}$ 96 vorm. J. N. Bei N ein Theelöffel voll einer 0.25% haltigen Zitronensäure eingegeben; schwach unangenehm. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis.

Die Volumenkurve zeigt weiter nichts als die bekannten Äufserungen der willkürlichen Aufmerksamkeit. Die Messung gibt nämlich:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	22	3	6	15	11
Länge . . .	5,3	4,7	5,4	5,1	5,4

Digitized by Google

Hier sieht man also erst ein kurzes Steigen mit verkürztem Puls, darauf ein Sinken mit verlängerten, dann wieder ein Steigen mit verkürzten Pulsen, worauf die Pulslänge ungefähr bis zur Norm zurückkehrt. Dies enthält gar nichts Neues. Bei einem Geschmacksreize wie dem hier angewandten, wo die V-P den Stoff verschluckt, wird der Unlustzustand natürlich von verhältnismäfsig langer Dauer sein, wenn er auch nur schwach ist. Wird dagegen die Unlust nur eine ganz kurze und vorübergehende, so erhält man eine Reaktion, die mehr das Gepräge der unwillkürlichen Aufmerksamkeit trägt, mit vorwiegender Pulsverlängerung.

Tab. XXX, D. 4/5 96 abends. A. L. Bei ⊾ kurze Einwirkung heifsen Wassers, 68° C.; nicht besonders unangenehm.

Der Wärmereiz wurde in der Weise ausgeübt, dafs auf den entblöfsten linken Arm (das Plethysmogramm ist am rechten Arm genommen) eine kleine Glaskolbe mit heifsem Wasser von der angegebenen Temperatur gesetzt wurde; die Kolbe wurde sogleich wieder entfernt, die Empfindung war aber doch zu stark, um angenehm genannt werden zu können. Die Volumschwankungen sind hier ganz dieselben wie früher, die Messung zeigt aber entschiedene Pulsverlängerung.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	17	2	7	13	11
Länge . . .	5,7	4,9	6,2	5,9	6,3

Die beiden hier beobachteten Verhältnisse scheinen ganz konstant einzutreten, welche Art von Reizen man auch benutzen möge. Ist die Empfindung nur schwach unangenehm, so erhält man Pulsverlängerung bei kurzen, Pulsverkürzung bei längeren Reizen.

Tab. XXXI, A. 15/12 96 nachm. J. N. Bei ⊓ eine geringe Menge Äthers an den rechten Arm gespritzt, etwas unangenehm. Plethysmogramm des linken Arms.

Die bekannten Volumschwankungen wiederholen sich hier. Das starke Sinken am Ende der Kurve rührt davon her, dafs die Kälteempfindung bestimmte Assoziationen der V-P erregte. Die Messung zeigt eine allerdings sehr geringe Pulsverkürzung:

Digitized by Google

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	18	2	7	11
Länge	5,4	5,0	5,6	5,3

Der Durchschnitt der Phase b-e ist 5,3, also doch kleiner als der von a-b. Es liegt wohl die Ansicht nahe, dafs wir bei den letzten beiden Versuchen nur mit der spezifischen Wirkung der Wärme und Kälte auf den Herzschlag zu thun haben. Wie wir später sehen werden, kommt ein solcher besonderer Einflufs wirklich vor, ist der Reiz aber so stark lokal begrenzt, wie es hier der Fall war, so mufs er viel kräftiger und länger sein, um direkt auf das Herz influieren zu können. Und wenn dies geschieht, erzeugt die Kälte bekanntlich Pulsverlängerung, die Wärme Pulsverkürzung, während die Versuche hier gerade das Gegenteil zeigten. Die Annahme ist deshalb berechtigt, dafs die gefundenen Reaktionen durchaus nichts andres ausdrücken, als die stattgefundenen Änderungen der Aufmerksamkeit. Wir müssen also zu verhältnismäfsig intensiveren Reizen greifen, wenn wir etwas den Unlustgefühlen Eigentümliches in den Reaktionen zum Vorschein bringen wollen.

Im Folgenden gebe ich nun erst eine Reihe von Versuchen wieder, die mit Geschmacksreizen angestellt wurden. Die verschiedenen Stoffe wurden alle in Auflösung gegeben, bei jedem Versuche ungefähr ein Theelöffel voll. Weshalb es, wie Mentz irgendwo kategorisch bemerkt, »fehlerhaft« sein sollte, die V-P den Stoff verschlucken zu lassen, hat mir nie einleuchten wollen. Intensive Geschmacksempfindungen erhält man selten, bevor der Stoff so tief in den Schlund hinab gelangt ist, dafs das Verschlucken schwer zu vermeiden ist; jedenfalls würde es ernstliche Störungen der Kurven herbeiführen, sollte die V-P ihn wieder aufbrechen. Und eine physiologische Intoxikationswirkung braucht man bei den geringen Mengen unschädlicher Stoffe, von deren Anwendung hier die Rede ist, wirklich nicht zu befürchten. Ich habe deshalb in allen Fällen meine Versuchspersonen die kleine dargereichte Dosis ruhig verschlucken lassen.

Tab. XXXI, B. $^{31}/_{3}$ 96 nachm. A. L. Bei N 1 eine

Digitized by Google

10% haltige Auflösung schwefelsauren Chinins, bei ⊾ 2 sehr unangenehmer Geschmack.

Hier finden sich an allen Punkten deutliche Abweichungen von der bloſsen Konzentration der Aufmerksamkeit. Die Atmung zeigt gleich nach dem Reiz ein Stocken, darauf folgen einige tiefe Atemzüge; der fernere Verlauf ist ziemlich unregelmäſsig. Die Volumkurve zeigt allerdings, ebenso wie bei schwächeren Reizen, ein Sinken und Steigen, es fällt hier aber sehr in die Augen, daſs die Pulshöhe, solange das Volumen unter dem gewöhnlichen Niveau liegt, bedeutend abnimmt; erst wenn das Volumen wieder bis zur Norm emporgestiegen ist, erhalten die Pulse ihre ursprüngliche Höhe, die sie sogar noch ein wenig überschreiten. Auch an anderen Punkten finden sich Abweichungen von dem früher Wahrgenommenen. Das Sinken dauert länger, als man es gewöhnlich bei einer Änderung der Aufmerksamkeit antrifft, und die Pulsverkürzung ist viel bedeutender.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	21	2	11	10	7	11
Länge . . .	5,1	4,4	4,4	4,3	4,8	4,8

Zugleich zeigt die Messung, daſs die Pulslänge während der Volumsteigung zunimmt, so daſs die stärkste Steigung, in der Phase f-g, Pulslängen aufzeigt, welche gröſser sind als die während des Sinkens, in der Phase c-d. Dies ist ganz das Gegenteil von dem, was wir vorher antrafen; bei allen Änderungen der Aufmerksamkeit sinkt das Volumen mit relativ langen, steigt aber mit kürzeren Pulsen. Alle hier berührten Eigentümlichkeiten werden wir nun in den folgenden Kurven wiederfinden, bald kann der eine, bald der andere Zug mehr hervortreten, schwerlich wird man aber irgendwo einen einzigen derselben gänzlich vermissen.

Tab. XXXI. C. 19/10 96 vorm. A. L. Bei ⊾ 1 schwefelsaures Chinin, bei ⊾ 2 geschmeckt. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	9	3	8	14	31
Länge . . .	5,1	4,4	4,1	4,2	4,8

Digitized by Google

Der Versuch ist ganz derselbe wie der vorhergehende und gibt auch dasselbe Resultat, nur mit kleinen, unwesentlichen Modifikationen. In der Atmung ist dieselbe Stockung mit nachfolgenden höheren Atemzügen zu sehen; in der Volumsenkung ist die Abnahme der Pulshöhe nicht so hervortretend, um so mehr die supernormalen Pulshöhen gegen Ende des Versuchs. In der Steigung d-e ist die Pulslänge gröfser als in der Senkung c-d. An anderen Versuchspersonen findet man das nämliche, fortwährend mit geringen Variationen.

Tab. XXXI, D und XXXII, A. 16/11 96 vorm. J. N. Bei ⋀ schwefelsaures Chinin. XXXII, A ist die unmittelbare Fortsetzung von XXXI, D. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	16	37	9	6	13	29
Länge . . .	5,8	5,2	5,3	5,3	5,3	5,4

Am meisten fällt hier die sehr lange und starke Volumsenkung auf; kleine Störungen der Kurve, von der Thätigkeit des Müllerschen Ventils herrührend, sind an mehreren Orten zu sehen, zum letztenmal eben vor c — so lange dauert also das Sinken. Während des folgenden Steigens findet sich deutliche Pulsverlängerung; hervortretend ist endlich die supernormale Pulshöhe in der Phase f-g. Ganz analoge Reaktionen erhält man durch andere unangenehme Geschmacksreize, was aus folgendem Versuche zu ersehen ist, der keines Kommentars bedarf.

Tab. XXXII, B u. C. 26/10 96 vorm. J. N. Bei ⋀ eine 5 % haltige Zitronensäure, höchst unangenehmer Geschmack. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	30	3	26	15	13
Länge . . .	5,4	4,3	4,8	4,8	4,9

An demselben Tage, aber nach einer längeren Pause und vorhergehendem Ausspülen des Mundes, wurde der nämliche Versuch mit einer etwas schwächeren Auflösung wiederholt; die Wirkung war dieselbe, jedoch weniger hervortretend.

Tab. XXXIII, A. 26/10 96 vorm. J. N. Bei ⋀ eine 1 % haltige Auflösung von Zitronensäure.

Digitized by Google

Phase	a-b	b-c	c-d
Anzahl	16	14	19
Länge	5,2	4,8	5,3

Die Unterschiede der Intensität des Gefühls äufsern sich also wirklich durch entsprechende quantitative Unterschiede der körperlichen Äufserungen. Noch deutlicher tritt dies in den systematischen Versuchen hervor, die ich wiederholt mit allmählich anwachsender Konzentration der benutzten Auflösungen angestellt habe. Eine einzelne dieser Versuchsreihen wird zur Beleuchtung des Verhältnisses genügen:

Tab. XXXIII, B—D u. XXXIV, A. 22/10 96 nachm. A. L. Zitronensäureauflösungen verschiedener Stärke. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Wir gehen die Kurven einzeln durch. XXXIII, B zeigt die Wirkung von 0,5 % haltiger Zitronensäure, die nicht übertrieben unangenehm war, aber dennoch alle eigentümlichen Äufserungen des Unlustgefühls bietet:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl	9	2	9	4	11
Länge	4,8	4,4	3,9	4,3	4,5

Nach einem Aufenthalt von 1/2 Min., während dessen der Mund sorgfältig ausgespült wurde, sind die Kurven C u. D genommen; D ist die unmittelbare Fortsetzung von C. Bei ↖ in der Kurve C wurde die gewöhnliche Dosis einer 1prozentigen Zitronensäure eingenommen. Die Volumsenkung hält etwas länger an als in B, und die Pulshöhe nimmt mehr ab; aufserdem ist die Pulsverkürzung stärker. Bei ↖ in D wurde ohne vorhergehendes Ausspülen des Mundes eine 2prozentige Auflösung eingenommen. Wegen des vorigen Reizes wurde der Geschmack sehr abgestumpft, jedoch noch merkbar unangenehm; die Kurve zeigt auch in allen Richtungen verminderte Wirkung, namentlich findet sich, wie die Messung zeigt, nur geringe Veränderung der Pulslänge:

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl	13	10	9	5	11	15	2	8	14	12
Länge	5,0	4,0	4,0	4,0	4,6	4,5	4,4	4,1	4,5	4,8

Der Unterschied zwischen dem Einflusse der beiden Reize ist sehr deutlich; bei dem ersten fällt die Puls-

Digitized by Google

länge von 5,0—4,0, bei dem zweiten nur von 4,5—4,1. Der Versuch scheint mir darum besonders interessant, weil er zeigt, wie einem schwächeren Gefühl eine schwächere Reaktion entspricht, trotzdem der Reiz kräftiger ist; der psychische Zustand und die körperliche Äufserung befinden sich in Übereinstimmung, sind von der objektiven Gröfse des Reizes unabhängig. Sobald die subjektive Empfänglichkeit bis zur normalen Gröfse angewachsen ist, können wir also aufs neue eine kräftige Äufserung erwarten. Dies sieht man auch XXXIV, A, die nach einer kurzen Unterbrechung genommen ist, während deren der Mund sorgfältig ausgespült wurde; bei ∧ 5 prozentige Zitronensäure. Die Volumsenkung ist hier stärker und andauernder als in irgend einem der vorhergehenden Fälle; die Pulshöhe hat ebenfalls mehr abgenommen. Dafs dasselbe auch von der Pulslänge gilt, geht aus der Messung hervor:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	11	2	10	8	18	19
Länge . . .	4,9	4,2	4,0	3,8	4,2	4,8

Ganz ähnliche Verhältnisse beobachtet man auch bei unangenehmen Geruchsreizen, diese mögen eigentliche Geruchsempfindungen hervorrufen oder auch nur als schmerzhafte Irritation der Schleimhäutchen der Nase wirken. Die Reaktionen werden doch keine so entschiedenen wie bei Geschmacksreizen, wahrscheinlich weil selten eine so lange und intensive Reizung gelingt. Ist der Geruch nicht sonderlich unangenehm, so wird auch die körperliche Äufserung schwächer, dem analog, was wir bereits über die Geschmacksempfindungen erfahren haben. Wirkt der Stoff dagegen sehr irritierend auf die Schleimhäutchen, so unterläfst die V-P rein instinktmäfsig das Atemholen und atmet nur sehr schwach durch den Mund, weshalb der Reiz also ein verhältnismäfsig kurzer wird. In allen Fällen erzielt man deshalb nur eine geringere Wirkung. Beispiele dieser Art sind in den folgenden drei Kurvenreihen gegeben, wo das Sinken des Volumens, die Abnahme der Pulshöhe und die Verkürzung des Pulses zwar überall zu gewahren sind, jedoch weniger entschieden und regelmäfsig als bei den Geschmacksreizen.

Digitized by Google

Tab. XXXIV, B. 1/10 96 nachm. P. L. Bei ⊓ Ammoniak.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	6	10	5	12	10
Länge . . .	4,7	4,5	4,2	5,3	4,9

Tab. XXXIV, C. 15/12 96 nachm. J. N. Bei ⊓ Schwefelkohlenstoff. Volumen des linken Arms.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	19	3	4	27	6
Länge . . .	5,1	4,9	5,1	4,9	5,1

Tab. XXXIV, D. 29/9 96 nachm. A. L. Bei ⊾ Asa foetida.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	9	6	3	7	4	8
Länge . . .	4,7	5,1	4,4	4,4	4,0	5,3

Die am stärksten unlustbetonten Empfindungen, die sich durch äußere Reize hervorrufen lassen, erhalten wir im allgemeinen wohl mittels der Hautsinne; wo es sich aber um Versuche handelt, ist es mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, diese Sinne anzugreifen. Stiche oder ähnliche schmerzhafte Eingriffe sind erstens sehr schwer an Stärke zu regulieren, und ferner geben sie leicht den Anlaſs zu Gemütsbewegung verschiedener Art. Dasselbe gilt von Induktionsströmen, die den meisten Menschen ein gewisses Entsetzen einflöſsen. Auſserdem erzeugen starke Induktionsströme fast unvermeidlich Muskelkontraktionen, welche die Kurven stören. In gewissen Fällen, namentlich bei der Untersuchung analgetischer Zustände, sind sie ein höchst wertvolles Hilfsmittel, weil ihre Stärke sich leicht regulieren läſst und sie selbst bei lange anhaltender Wirkung keine ernstliche Beschädigung nach sich ziehen; bei Versuchen an normalen Individuen habe ich indes aus den angeführten Gründen selten reine Resultate erzielt. Besser gelingen dergleichen Versuche, wenn man Wärme und Kälte in Anwendung bringt. Die Intensität läſst sich leicht angemessen machen; man kann dieselbe hinlänglich unangenehm machen, ohne daſs sie Beschädigungen bewirkt, und endlich sind alle Menschen aus dem täglichen Leben

Digitized by Google

mit dergleichen Reizen so vertraut, dafs diese selten unerwünschte Gemütsbewegungen veranlassen. In Tab. XXXV—XXXVII gebe ich eine Reihe solcher Versuche wieder, die in mehreren Beziehungen Interesse darbieten.

Tab. XXXV, A u. B. 29/10 96 nachm. Dr. B. Bei ⊓ Wasser von 80° C. in einer Kolbe auf den rechten Arm gesetzt. Das Plethysmogramm am linken Arm genommen. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	17	15	15	15	16	16
Länge . . .	4,6	4,1	3,9	4,7	4,7	4,8

Die heifse Glaskolbe war mit dem Arm in Berührung, bis die V-P selbst das Zeichen zu ihrer Entfernung gab, weil der Schmerz zu stark wurde. Die Kurve zeigt auch sehr entschieden alle früher gefundenen Kennzeichen der Unlustgefühle, sowohl in der Atmung als im Volumen, sowohl in der Höhe als der Länge der Pulsschläge. Da der Reiz so stark lokal begrenzt war und vielmehr Schmerz als eigentlich eine Wärmeempfindung erzeugte, hat es keine grofse Wahrscheinlichkeit für sich, dafs die pulsverkürzende Wirkung der Wärme sich hier hätte geltend machen können. Die Messung zeigt denn auch, dafs die Pulsverkürzung schnell einer Pulsverlängerung weicht. Im folgenden Versuch kann es dagegen kaum zweifelhaft sein, dafs der Reiz dauerhaften Einflufs auf den Herzschlag hinterläfst.

Tab. XXXV, C u. D. 5/11 96 nachm. A. L. Bei ⊓ Chloräthyl an den rechten Arm; das Besprengen hörte erst auf, als die V-P in ein brüllendes Au! ausbrach. Volumen des linken Arms, rechte Radialis. D ist etwa 1 Min. nach C genommen.

Die Kurve zeigt starkes Sinken des Volumens, das sich bis nach dem Aufhören des Besprengens fortsetzt. Die Verminderung des Volumens ist so grofs, dafs der Schreibhebel der Veränderung nicht zu folgen vermag, und die Kurve wird deshalb zur Geraden reduziert, da der Experimentator nicht dafür sorgte, das Ventil zu öffnen. Auf dem gleichzeitig aufgenommenen Sphygmogramm läfst sich indes die Pulslänge während eines

Digitized by Google

Teils dieser Zeit messen. Gegen Ende der Kurve C war eine Zone des Cylinders vollgeschrieben: man hielt nun mit dem Aufzeichnen inne, bis der Puls in der Volumkurve wieder sichtbar zu werden anfing, was ungefähr 1 Min. dauerte. Darauf wurde D genommen. Besonderes Interesse bieten die Pulslängen dar:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl .	8	15	19	9		14	26
Länge .	5.2	5,0	4,5	5,4		5,3	5,6

Gleich beim Eintreten der Kälteempfindung fängt die Pulslänge also an abzunehmen, und diese Verminderung dauert bis nach dem Aufhören des Reizes, weicht dann aber einer sehr bedeutenden Pulsverlängerung, welche die Norm überschreitet. Da die sehr intensive lokale Kälteempfindung zur Folge hatte, dafs die V-P am ganzen Körper Kälteempfindungen bekam, so ist es verständlich, dafs hier eine anhaltende Pulsverlängerung erscheint, die eine dauerhafte Abkühlung eines gröfseren Teils des Körpers konstant begleitet (vgl. Tab. XX, D; siehe S. 74).

Ist der lokale Kältereiz weniger intensiv, aber doch hinlänglich unangenehm, so gewahrt man auch nur die pulsverkürzende Wirkung der Unlust ohne hinterherfolgende anhaltende Pulsverlängerung. Dies geht aus den folgenden Kurvenreihen hervor:

Tab. XXXVI, A u. B. 16/11 96 vorm. J. N. Bei ⊓ Besprengung des rechten Arms mit Äther. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . . .	19	24	4	18	11	15
Länge . . .	5.6	5.4	5,6	5.6	5,2	5,5

Bei diesem Versuch war das Müllersche Ventil in die Leitung eingefügt, was sich durch die zahlreichen kleinen Störungen der Volumkurve anzeigt. Die letzte derselben findet sich unmittelbar vor c: die Messung zeigt also, dafs die Pulsverkürzung gerade ebenso lange dauert wie die Volumsenkung: darauf kehrt die Pulslänge zur Norm zurück.

Digitized by Google

Bei allen diesen Versuchen wurde der Reiz stets an dem nicht im Plethysmographen eingeschlossenen Arm angebracht, natürlich um zu verhüten, dafs die wahrgenommenen Volumveränderungen direkt verursachte, rein lokale Erscheinungen würden. Da es indes auch von Interesse war, die Wirkung der Kälte- und Wärmereize auf andere, am liebsten gröfsere Teile der Oberfläche des Organismus zu betrachten, wurden zahlreiche Versuche mit dem oben erwähnten Stiefel angestellt, wobei der Fufs und das Bein bis etwa zur Mitte der Wade einer Abkühlung oder Erwärmung ausgesetzt wurden. Zwei dieser Versuche (Tab. VI—VIII) wurden bereits oben beschrieben (S. 46—50); ich gebe hier nur die Messung des letzteren derselben wieder, der ein typisches Bild der vorkommenden Pulsveränderungen darbietet. Die Wirkung schwächerer und stärkerer Kälte geht aus Tab. VII, D und VIII, A hervor.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	16	5	5	23	12	16	25
Länge . .	5,5	6,3	5,6	5,7	5,3	5,6	6,2

In der Phase b-e findet sich eine bedeutende Pulsverlängerung infolge der schwachen Abkühlung, die dadurch hervorgerufen wurde, dafs die Luft Zutritt zum Fufse erhielt, der vorher mit Wasser von 35° C. umgeben war. Die hierauf folgende stärkere Abkühlung durch Wasser von 6° C., in der Phase e-f, bewirkt sogleich eine Pulsverkürzung, die rasch in eine die Norm überschreitende Pulsverlängerung übergeht. Es geht hieraus hervor, dafs die Kälte durchweg Pulsverlängerung erzeugt, ausgenommen, wenn sie schmerzhaft ist, denn alsdann hat sie, wie jeder andere unlusterregende Reiz, Pulsverkürzung zur Folge. Bei der Einwirkung der Wärme stellt sich das Verhalten dagegen ganz anders. Sogar ein nur wenig intensiver Wärmereiz, der nur momentan unangenehm ist, bewirkt eine Verkürzung des Pulses von beträchtlicher Dauer, worauf ein Zunehmen folgen kann, was doch keineswegs immer geschieht. Ein Beispiel hiervon gibt Tab. VIII, B u. C. Die Messung zeigt:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl. . .	13	21	10	13	24	21
Länge . . .	6,1	5,5	5,1	5,1	5,7	6,3

Digitized by Google

Die bei ⊾ 2 eintretende Wärmeempfindung bewirkt also Verkürzung in der Phase c-e, und erst bei f ist die Pulslänge entschieden gröſser als in dem vorhergehenden Normalzustand, Phase a-c. Ein anderer Versuch, der genau dieselben typischen Veränderungen der Pulslänge durch Kältereize zeigt, gibt dagegen keine Zunahme der Pulslänge nach dem Wärmereize. Dieses Experiment ist wiedergegeben:

Tab. XXXVI, C u. XXXVII, A—D. 3/12 96 nachm. A. L. Kälte- und Wärmereiz am Fuſse. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Anfänglich war der Fuſs in Wasser von 35° C. angebracht. Bei ⊓ 1 in XXXVI, C floſs das Wasser ab; die hierdurch eintretende schwache Abkühlung führt die gewöhnlichen Veränderungen herbei. Bei ⊓ 2 wurde 6° kaltes Wasser in den Stiefel gegossen; das Wasser floſs nur hindurch, das Zeichen gibt die Dauer des Reizes an. Der fernere Verlauf ist aus XXXVII, A, der unmittelbaren Fortsetzung, zu ersehen. Die Messung zeigt ganz dieselben Resultate wie der oben besprochene Versuch:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	20	18	3	10	12	9	21
Länge . . .	5,1	5,2	4,8	4,9	5,3	6,3	5,7

Hier haben wir also wieder Pulsverlängerung bei der schwachen Abkühlung in der Phase b-c, Pulsverkürzung beim Kälteschmerz in der Phase c-e, darauf aber Verlängerung. XXXVII, B, die unmittelbare Fortsetzung von A, ist deshalb von Interesse, weil hier der Moment markiert ist, in welchem die bekannte Reaktion nach der Abkühlung eintrat. Bei ⊾ gab die V-P an, eine deutliche Wärmeempfindung zu haben, dies fällt, wie die Kurve zeigt, ungefähr in den Schluſs einer Volumsteigung. Nach einer Pause von etwa 1 Min. wurde die Kurve C und als unmittelbare Fortsetzung D genommen. Bei ⊓ wurde 44° C. warmes Wasser in den Stiefel gegossen, wo es stehen bleiben durfte. Solange das Eingieſsen dauerte, bewirkte die Wärme ziemlich lebhaften Schmerz, der sich indes gleich verlor; sowohl die Atmung, als das Volumen, die Pulshöhe und die Pulslänge zeigen denn auch die bekannten Eigentümlichkeiten der Unlust. Die Messung gibt:

Digitized by Google

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . . .	10	2	10	11	15	25
Länge . . .	5,6	5,5	5,2	5,4	5,4	5,6

Hier erreicht die Pulslänge nur ihre ursprüngliche Norm, ohne sie jedoch zu überschreiten.

Das Resultat aller vorhergehenden Untersuchungen wird also folgendes:

Stark unlustbetonte Empfindungen bewirken sogleich ein Stocken der Atmung, gefolgt von einigen tiefen Atemzügen, worauf diese mehr oder weniger unregelmäſsig wird. Das Volumen zeigt starke und oft anhaltende Senkung mit bedeutender Abnahme sowohl der Pulshöhe, als der Pulslänge. Wenn das Volumen wieder steigt, beginnt auch die Pulshöhe zuzunehmen, und diese überschreitet oft die Norm, wenn das Volumen sein ursprüngliches Niveau erreicht hat. Bei schwächerer Unlust fängt die Pulslänge ebenfalls zu wachsen an, wenn das Volumen steigt; ist die Unlust eine sehr starke, so nimmt die Pulslänge während der ersten Steigung noch ferner ab, fängt aber regelmäſsig zu wachsen an, bevor das Volumen sein ursprüngliches Niveau erreicht hat; die Pulslänge ist jedoch hier gewöhnlich noch bedeutend kleiner als die Norm. Nur bei starken Kältereizen findet eine Ausnahme hiervon statt, indem die Pulslänge meistens die Norm überschreitet, sobald das Volumen zu wachsen anfängt.

Bei der Untersuchung der Spannung wies ich nach, daſs die durch äuſsere Reize hervorgerufenen Puls- und Volumveränderungen geradezu Resultanten derjenigen Veränderungen sind, welche die beiden gleichzeitig gegebenen psychischen Zustände, nämlich die Abnahme der Spannung und die neue Konzentration der Aufmerksamkeit, jeder für sich herbeiführen würden. Es ist deshalb auch ziemlich wahrscheinlich, daſs die oben nachgewiesenen Reaktionen während der Unlustzustände ebenfalls Resultanten derjenigen Wirkungen sind, welche die Änderung der Aufmerksamkeit und die entstandene

Digitized by Google

Unlust jede für sich hervorrufen würden. Dies zu beweisen, ist natürlich jedoch nicht möglich, weil ein starkes Unlustgefühl sich nicht ohne gleichzeitige Konzentration der Aufmerksamkeit hervorbringen läfst, und vermögen wir also nicht, die Äufserungen jedes der beiden Zustände für sich zu bestimmen, so können wir auch nicht ihre Resultante konstruieren. Wie wir später, namentlich unter den Lustgefühlen, sehen werden, deutet vieles darauf hin, dafs gleichzeitige psychische Veränderungen wirklich voneinander unabhängig wirken, so dafs ihre körperlichen Äufserungen in jedem einzelnen Moment die Summe (oder Differenz) der Veränderungen werden, welche jeder Zustand für sich hervorrufen würde. Wenden wir diesen Satz auf die gefundenen Unlustreaktionen an, so mufs man also alles, wodurch diese sich von der blofsen Konzentration der Aufmerksamkeit unterscheiden, nämlich ein geringes, aber anhaltendes Sinken des Volumens, starke Pulsverkürzung und Abnahme der Pulshöhe, eben die Äufserungen des Unlustzustandes sein. Wir werden nun gleich im Folgenden sehen, dafs diese Verhältnisse sich auch in mehr zusammengesetzten Unlustzuständen wiederfinden, insofern andre gleichzeitige Veränderungen sie nicht bekämpfen und aufheben. Hierzu ist aber doch noch eins zu bemerken.

Man weifs noch durchaus nichts davon, wozu die verschiedenen organischen Veränderungen dienen, deren zusammengedrängtes Bild wir in den aufgenommenen Plethysmogrammen erhalten. Wir sahen jedoch bereits und werden dies im Folgenden ferner bestätigt finden, dafs diese Veränderungen in hohem Grade konstant, gesetzmäfsig sind. Es geht daher durchaus nicht an, zu behaupten, diese körperlichen Veränderungen seien mehr oder weniger zufällige Äufserungen derjenigen Energieumsätze, die während der psychischen Thätigkeit im Gehirn vorgehen[1]. Weit wahrscheinlicher ist die Ansicht, dafs die organischen Veränderungen zweckmäfsige Mafsregeln sind, mittels deren das Zentralnervensystem seinen Blutzuflufs reguliert und sich überhaupt darauf einstellt, eben die von den vorhandenen

---

[1] J. Breuer und S. Freud: Studien über Hysterie. Wien 1895, S. 176.

Digitized by Google

psychischen Zuständen erheischte Arbeit auszuführen. Unter dieser Voraussetzung wird es ebenfalls verständlich, dafs jeder neue, zu den bereits bestehenden hinzutretende Zustand auch neue Mafsregeln, fernere organische Veränderungen erfordert, die zu den vorher gegebenen einfach addiert werden. Dies kann wahrscheinlich aber nur eine Zeitlang so gehen. Denken wir uns eine Dampfmaschine so eingerichtet, dafs sie selbst unter den Kessel heizt, und zwar um so stärker, je mehr Arbeit von ihr verlangt wird. Heizt sie nun immer stärker, so wächst der Druck des Dampfes und mithin die von der Maschine geleistete Arbeit. Hätte der Druck aber eine gewisse Gröfse erreicht, so würde sich das Sicherheitsventil öffnen, und von diesem Augenblick an würden wir keine vermehrte Arbeit erhalten. Ähnlicherweise scheint es im Organismus herzugehen. Hat der psychische Zustand, der erhalten werden soll, einen gewissen Grad der Komplikation erreicht, so scheint das Gehirn seine Leistungsfähigkeit nicht mehr dadurch erhöhen zu können, dafs es zu den bereits bestehenden organischen Veränderungen neue hinzuaddiert; es öffnet dann ein Sicherheitsventil, und ganz neue Erscheinungen treten im Organismus ein.

Im Folgenden werden wir an mehreren Punkten Gelegenheit erhalten, dies zu beobachten. Solange der psychische Zustand kein gar zu komplizierter wird, ist die körperliche Reaktion geradezu die Summation der Reaktionen der einzelnen Teilzustände; dies ist aber nur bis zu einem gewissen Punkte gültig. Natürlich ist es nicht möglich, auf irgend eine Weise anzugeben, wie kompliziert ein Zustand sein mufs, damit die Reaktion nicht mehr eine einfache Summation werde, wir werden indes erfahren, dafs bei tieferen Gemütsbewegungen und Stimmungen, wo der gesamte latente Bewufstseinsinhalt des Individuums mit ins Spiel gerät, körperliche Veränderungen zum Vorschein kommen, die sich nicht durch eine Analyse des seelischen Zustandes erklären lassen. In gröfserer Ausdehnung habe ich dergleichen zusammengesetzte psychische Erscheinungen, die eigentlichen Affekte und Stimmungen, indes nicht untersucht. Dieselben sind auf experimentellem Wege bekanntlich ziemlich schwer hervorzurufen, und da unser Verständnis

Digitized by Google

von den Reaktionen der einfachen und nicht zusammengesetzten Zustände und von deren Bedeutung bis jetzt noch fast gleich null ist, wird es vorläufig ziemlich erfolglos sein, die Untersuchungen auf die komplexen Erscheinungen auszudehnen. Ich beschränke mich deswegen im Folgenden fast ausschliefslich auf die Behandlung solcher Fälle, die sich gelegentlich von selbst darboten.

Tab. XXXVIII, A. 19/11 96 nachm. A. L. Schreck. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	12	4	8	9	21
Länge . . .	4,8	4,6	4,7	4,4	4,8

Der Versuch bezweckte eigentlich nur, einen der gewöhnlichen Fälle des Erschreckens hervorzurufen, zu welchem Zweck eine Flasche am Boden zerschmettert wurde. Da es der V-P indes nicht einleuchtete, dafs die Flasche vorsätzlich zerschlagen war, erzeugte dieses Ereignis aufser dem augenblicklichen Chok zugleich einen anhaltenderen Unlustzustand, einen Schreck, dafs ein Unfall geschehen sei. Die Messung zeigt auch, wie die pulsverlängernde Wirkung des Erschreckens die Pulsverkürzung des anhaltenderen Unlustzustandes bekämpft, so dafs die Verkürzung nur wenig hervortritt. Tab. XX, C zeigt einen Übergangsfall, wo der Schreck sehr rasch verschwand, weshalb die Pulsverkürzung noch weniger hervortritt.

Unter allen Affekten möchte wohl tiefer Kummer derjenige sein, der sich am schwierigsten auf experimentellem Wege hervorrufen läfst — jeder Versuch, einen solchen Zustand hervorzubringen, wird in der V-P natürlich den Verdacht erregen, es geschehe um des Experiments willen, und alsdann wird das Bezweckte nicht erreicht. Da das Leben aber gar nicht so selten derartige Affekte mit sich bringt, und da diese gewöhnlich eine deprimierte Stimmung hinterlassen, die oft von sehr bedeutender Dauer ist, geschieht es ziemlich oft, dafs die Versuchspersonen sich in einer solchen Gemütsstimmung im Laboratorium einfinden. Ich besitze mehrere während dieses Zustands genommene Kurven; in einigen Fällen teilte die betreffende V-P gleich bei der Ankunft mit, ihr Gemütszustand sei nichts weniger als

Digitized by Google

normal, in andern Fällen ersah ich dies aus den Kurven und erhielt auf Anfrage die Bestätigung meiner Diagnose. Die deprimierte Stimmung ist sehr leicht zu erkennen; ich gebe hier nur eine einzelne, vollkommen typische Kurve wieder:

Tab. XXXVIII. B. 23/11 96 vorm. J. N. Deprimierte Stimmung. Plethysmogramm des linken Arms.

Die Kurve zeichnet sich durch ihre grofsen Undulationen und stark hervortretenden Respirationsoszillationen aus. Leider gelang es mir nie, die Stimmung so vollständig aufzuheben, dafs eine Normalkurve zum Vergleich genommen werden konnte; es ist folglich nicht möglich, etwas darüber zu sagen, wie sich die Gröfse des Volumens und der Puls im Verhältnis zur Norm stellen. Nur ein einziges Mal habe ich eine deprimierte Stimmung während der Versuche entstehen sehen, aber auch bei dieser Gelegenheit war es unmöglich, eine Normalkurve zu erhalten; da der Fall indes einiges Licht über verschiedene Verhältnisse verbreitet, gebe ich ihn hier wieder.

Tab. XXXVIII. C u. D. 14/4 96 nachm. C. J. Spannung, von Depression abgelöst.

Wie oben S. 85 erwähnt, zeigte C. J. ebenso wie P. L. eine hartnäckige Neigung zur Spannung, die nur selten ganz aufhörte. Zu dem Zeitpunkt, da die hier vorliegenden Kurven genommen wurden, war ich noch nicht über das Verhältnis im reinen. Der Anfang von C zeigt einen Zustand entschiedener Spannung. Im Laufe von 4 Min. wurden verschiedene Versuche angestellt (in der Tafel weggelassen), deren Ergebnis mir durchaus negativ vorkam, da nicht die geringste Veränderung des Volumens eintrat. Wahrscheinlich konnte ich meinen Ärger hierüber nicht ganz verbergen, was zur Folge hatte, dafs sich in der V-P eine deprimierte Stimmung emporarbeitete; diese gibt sich am Ende der Kurve C Ausdruck. Nach mehreren ebenso mifslungenen Versuchen wurde 2 Min. später D genommen. Hier ist die Depression völlig entwickelt. Ebenso wie im vorhergehenden Falle, Kurve B, finden sich hier grofse Undulationen und stark markierte Respirationsoszillationen. Wir lernen aber zugleich noch mehr. Denn während der Spannung ist das Volumen, wie wir wissen,

Digitized by Google

ein wenig vermindert, und die Pulshöhen sind unter der Norm. Da die Depression nun keine wesentliche Veränderung zeigt, weder in betreff der Gröſse des Volumens, noch der Pulshöhe, so wird es wohl berechtigt, zu schlieſsen:

W ä h r e n d e i n e r d e p r i m i e r t e n S t i m m u n g i s t d a s V o l u m e n v e r m i n d e r t u n d d i e P u l s h ö h e s u b n o r m a l. D u r c h d i e v e r s c h i e d e n e n U n d u l a t i o n e n, d i e n i e m a l s w ä h r e n d d e r S p a n n u n g v o r k o m m e n, s i n d d i e b e i d e n Z u s t ä n d e l e i c h t v o n e i n a n d e r z u u n t e r s c h e i d e n.

Die Furcht, die unlustbetonte Erwartung, daſs etwas Unangenehmes eintreffen werde, läſst sich während der Versuche bei nicht so seltenen Gelegenheiten beobachten. Sie ist oft das erste Mal vorhanden, wenn jemand als V-P Dienste leistet, und sie zeigt sich ebenfalls häufig während der Vorbereitungen zu einem eingreifenderen Experiment an. Tab. IX, A—C gibt einen typischen, nur durch das Ungewohnte der Situation hervorgerufenen Zustand der Furcht wieder; man sieht, daſs sowohl das Armvolumen, als auch die Pulshöhe und die Pulslänge anwachsen, indem die Furcht abnimmt. Folglich findet man in der Furcht alle gewöhnlichen Äuſserungen der andauernden Unlust, und auſserdem zeigt die Volumenkurve hervortretende Respirationsoszillationen, die ein konstantes Anzeichen gedrückter Stimmungen zu sein scheinen. Sehr ausgeprägt sind sie zu sehen:

Tab. XXXIX. A—D. 6/5 95 nachm. A. L. Betäubung mittels Stickstoffoxyduls.

Wir kommen später, in anderem Zusammenhange, auf diesen Versuch zurück, der für den Augenblick zunächst wegen seines gesamten Verlaufs Interesse hat. Die Kurve A zeigt ziemlich heftige Furcht, charakterisiert durch sehr kleinen und geschwinden Puls und gewaltige Oszillationen ohne besonders tiefe Atmung. Bei ⊾ begann die Einatmung des Stickstoffoxyduls; diese dauerte bis ⊾ 1 in der Kurve B, welche die unmittelbare Fortsetzung von A ist. Bei ┌┐ 2 wurde ein kräftiger Induktionsstrom am linken Arm angebracht; seine Wirkung beschränkt sich wegen der bestehenden Analgesie zunächst auf einige Muskelkontraktionen, die

Digitized by Google

sowohl in der Atmungs-, als in der Volumkurve zu sehen sind. 5 Sek. nach B ist C genommen; hier hat die Furcht fast aufgehört, und sowohl die Pulslänge, als die Pulshöhe ist bedeutend gröſser als zu Anfang A. Endlich ist D die unmittelbare Fortsetzung von C: man sieht hier die Wirkung eines ganz kurzdauernden Induktionsstroms von derselben Stärke wie der vorher angewandte, nämlich: gewaltige Atmungsbewegungen und eine plötzliche Volumsenkung, wahrscheinlich durch Muskelkontraktionen verursacht. Auf die nähere Bedeutung des Versuches werden wir uns später einlassen; hier ist nur die von Anfang an vorhandene Gemütsbewegung und ihr Aufhören nach der Intoxikation von Interesse. Ganz rein erscheinen die Äuſserungen der Furcht natürlich nicht, weil wir nicht zu entscheiden vermögen, welchen Einfluſs die Intoxikation z. B. auf die Gröſse des Volumens gehabt hat; ich habe deshalb zu wiederholten Malen versucht, Furcht ohne Einwirkung solcher störenden Faktoren hervorzurufen. Ein Beispiel dieser Art, das in mehreren Beziehungen Interesse darbietet, gibt:

Tab. XL, A—D. $^{10}/_{12}$ 96 nachm. P. L. Furcht vor einer (fingierten) Betäubung mittels Stickstoffoxyduls. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Die V-P hatte keine Ahnung davon, was vorgehen sollte. Bei ⊓ in der Kurve A sagte ich: »Werde nun nicht bange, ich muſs eine Betäubung durch Stickstoffoxydul versuchen.« Zugleich öffnete ich die Thür des Nebenzimmers, wo die V-P den Gasometer aufgestellt sah, und führte die Leitung ins Versuchszimmer, wo alles bereit gemacht wurde. Die Kurve A zeigt eine starke Volumsenkung, kleine und schnelle Pulse und auſserdem die bekannten Respirationsoszillationen. Der Verabredung gemäſs bemerkte der am Kymographen sitzende Assistent: »Der Cylinder ist fast vollgeschrieben, wir müssen den Versuch aufschieben.« Es war hiermit natürlich die Meinung, die V-P sollte Gelegenheit erhalten, sich wieder zu beruhigen, ehe wir weitergingen. Man sieht denn auch gegen Ende A eine geringe Volumsteigung mit höheren und langsameren Pulsen, auſserdem einige tiefe Respirationen, offenbar ein paar Seufzer der Erleichterung. B ist die unmittelbare Fortsetzung

Digitized by Google

von A; ganz ruhig wurde die V-P natürlich nicht während dieser Zeit, da die Betäubung ja nur aufgeschoben, aber nicht aufgegeben war. 20 Sek. später wurde C genommen. Nun wufste die V-P, dafs es losgehen sollte, und die Kurve zeigt denn auch anfangs deutliche Furcht mit heftigem Herzklopfen, das in der zackigen Form der Respirationskurve zu erblicken ist. Bei ↖ begann die fingierte Einatmung; es war nämlich nicht die Spur von Stickstoffoxydul im Gasometer, sondern nur atmosphärische Luft. Die Einatmung wurde bis ↖ der Kurve D, der unmittelbaren Fortsetzung von C, fortgesetzt. Während dieser Zeit wird die V-P etwas ruhiger, aber erst nach dem Aufhören der Einatmung sieht man den normalen Zustand mit grofsem Volumen, hohen und langsamen Pulsen zurückkehren. Dieser Versuch bestätigt also vollständig die Resultate der früheren, zufälligen Wahrnehmungen:

Die Furcht äufsert sich durch kleines Armvolumen mit stark verminderter Pulshöhe und Pulslänge und hervortretenden Respirationsoszillationen in der Volumkurve.

Da die Respirationsoszillationen also in Depressionszuständen konstant vorhanden zu sein scheinen, deutet dies offenbar darauf hin, dafs unter diesen Verhältnissen noch andres und mehr im Organismus geschieht als die Veränderungen des Herzschlags und der Blutgefäfse an der Oberfläche des Körpers, die sich im Plethysmogramm direkt äufsern. Dieses unbekannte Etwas, das die Oszillationen verursacht, funktioniert wahrscheinlich als eine Art Sicherheitsventil, wodurch das Hirn befähigt wird, unter den von der anhaltenden Stimmung herbeigeführten anormalen Verhältnissen einen Zustand des Gleichgewichts zu erhalten.

Schliefslich führe ich noch zwei Fälle an, wo ein starkes Unlustgefühl durch eine psychische Arbeit hervorgerufen wurde, die zwar an und für sich nicht besonders anstrengend war, der V-P aber unter den gegebenen Verhältnissen höchst unangenehm vorkam. In beiden Fällen war eine Reihe weniger ansprechender Versuche angestellt worden; die V-P safs und ruhte aus und war soeben bis zu einem gewissen Wohlbehagen gelangt, als diese angenehme Stimmung dadurch unter-

Digitized by Google

brochen wurde, dafs man das Ausrechnen einer Aufgabe von ihr verlangte. Die Unterbrechung wurde entschieden unangenehm empfunden, und die Kurven zeigen denn auch alle gewöhnlichen Merkmale der Unlust: die anhaltende Volumsenkung und die stark verminderte Pulshöhe und Pulslänge stehen in entschiedenem Widerspruch mit den gewöhnlichen Äufserungen psychischer Thätigkeit.

Tab. XLI, A. $^{29}/_{10}$ 96 nachm. Dr. B. Bei ↖1 Rechenaufgabe (13 × 23), die eine unangenehme geistige Anstrengung erforderte; bei ↖ 2 kam die Beantwortung. Plethysmogramm des linken Arms.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	15	2	17	5	11	21
Länge . . .	4,5	4,3	4.0	3,7	4,4	4,1

Tab. XLI, B. $^{5}/_{11}$ 96 nachm. A. L. Angenehme Stimmung durch die Rechenaufgabe 14 × 24 unterbrochen; bei ↖ 2 die Antwort. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	19	3	5	9	19
Länge . . .	5,7	5,0	4,7	4,9	4,7

Unlust während Spannung. Zur Beleuchtung dieses Verhältnisses besitze ich ein sehr reichhaltiges Material, aus welchem es hervorgeht, dafs die Erscheinungen äufserst verworren sind. Die Reaktionen stellen sich verschieden, je nachdem die Spannung stärker oder schwächer ist, und überdies sind sie davon abhängig, ob die Spannung nach dem Aufhören des Reizes abnimmt oder mit unveränderter Stärke bestehen bleibt. Am leichtesten überschaulich ist das Verhältnis bei maximaler Spannung, die nach dem Aufhören des Reizes unverändert fortdauert; in diesem Falle geschieht fast gar nichts. Ein Beispiel hiervon gibt:

Tab. XLI, C. $^{21}/_{4}$ 96 vorm. C. J. Starke Spannung, bei ⊓ Ammoniak.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	19	8	9	15
Länge . . .	4,2	4.0	4,2	4,2

Die V-P gab an, der Geruch sei höchst widerlich, und sowohl die unregelmäfsige Atmung, als Störungen

Digitized by Google

der Volumkurve zeigen, dafs hier eine starke Irritation stattgefunden hat. In der Volumkurve erscheint doch nur in der Phase b-c eine zweifelhafte Senkung mit Pulsverkürzung. Nimmt dagegen die starke Spannung einige Zeit nach dem Reize ab, so erhält man die Volumsteigung der verminderten Spannung nebst deutlicher Pulsverlängerung:

Tab. XLI, D. 10/3 96 nachm. H. K. Starke Spannung; bei ⊓ 1 Schwefelkohlenstoff, die Empfindung dauerte angeblich bis ⊾ 2.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	22	9	13	10	23
Länge . . .	3,9	3,7	3,5	3,7	4,2

Ebenso wie in dem vorhergehenden Falle ist es eigentlich nur die Pulsverkürzung, die anzeigt, dafs ein Reiz stattgefunden hat; das Volumen bleibt unverändert. Gegen Schlufs steigt es jedoch mit vergröfserter Pulshöhe und Pulslänge, dies ist aber sicherlich keine direkte Wirkung der stattgefundenen Reizung, sondern eine spontane Verminderung der Spannung. Ein ganz ähnlicher Fall ist Tab. XXI, B gegeben, wo ein starker Ammoniakreiz nur einen sehr unregelmäfsigen Puls erzeugt; später scheint die Spannung sich ein wenig zu verlieren, indem das Volumen mit vergröfserter Pulshöhe und Pulslänge zunimmt. Die Messung zeigt nämlich:

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl .	17	5	2	6	4	10	8
Länge .	5,2	5,0	5,3	4,3	7,0	6,2	6,6

Zu näherer Beleuchtung der Verhältnisse gebe ich eine längere Versuchsreihe wieder, wo sowohl das Eintreten der Spannung, als deren vollständiges Aufhören sich gewahren läfst:

Tab. XLII, A—D. 19/5 95 abends. Ly. Unangenehme Geschmacksreize bei normalem Zustande und während Spannung.

Es war mein Plan, eine vollständige Reihe Geschmacksversuche mit Zitronensäure von verschiedener Konzentration durchzuführen. Ein paar schwächere Auflösungen waren versucht worden, und wir waren bis zu einer 2% haltigen Auflösung gelangt. Die Wir-

Digitized by Google

kung der letzteren zeigt die Kurve A, die mit Ausnahme von drei sehr langen Pulsschlägen in der Phase c-d nichts Ungewöhnliches darbietet; hier sind alle Reaktionen der Unlust:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	20	2	3	9	12
Länge . . .	4,8	4,5	5,9	3,6	4,3

B ist 1 Min. später genommen. Gleich anfangs sinkt die Volumkurve mit den bekannten Anzeichen der Spannung; ich schob deshalb die Geschmacksversuche auf und liefs eine Spieldose eine heitere Melodie intonieren, von ∧ 1 bis ∧ 2. Gröfsere Wirkung hatte dies nicht, und in mehreren nicht wiedergegebenen Kurven setzt sich trotz verschiedener angewandter Mittel die Spannung fort. Es war augenscheinlich, dafs die V-P nicht normal werden würde, bevor der letzte Versuch mit 5°/o haltiger Zitronensäure ausgeführt wäre. Die Wirkung ist in der Kurve C gezeigt, die ungefähr 3 Min. nach B genommen wurde. Die Spannung besteht fast unverändert; bei ∧ 1 sagte ich: »Geben Sie nun acht, jetzt wird es schlimm,« bei ∧ 2 wurde die Zitronensäure eingegeben. Meine Mitteilung hatte offenbar eine fernere Zunahme der Spannung mit Verminderung des Volumens und der Pulshöhe zur Folge, so dafs der Geschmack nur wenig auf das Volumen influiert. Ein wenig später sieht man dagegen, dafs die Spannung aufhört, indem das Volumen allmählich steigt, und dies dauert in der Kurve D, der unmittelbaren Fortsetzung von C, an (die Nulllinie ist 21 mm erhoben). Die Messung zeigt Pulsverkürzung als Folge des unangenehmen Geschmacks, Pulsverlängerung beim Aufhören der Spannung:

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i
Anzahl .	9	14	4	2	19	21	28	29
Länge .	5,2	5,1	4,6	4,7	4,0	4,2	4,6	5,2

Die beiden folgenden Kurven sind sehr instruktiv, indem sie uns das nämliche Unlustgefühl, erst während starker Spannung, darauf während schwächerer Spannung wiederholt zeigen.

Tab. XLIII. A u. B. 23/4 96 nachm. P. L. Unangenehmer Wärmereiz während Spannung. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Digitized by Google

Dafs Spannung vorhanden ist, geht aus den vorausgehenden, hier nicht mitgenommenen Kurven hervor. Bei ⊓ 1 wurde auf dem linken Arm eine Kolbe mit 80° heifsem Wasser angebracht: die Wirkung ist ebenso wie früher eine sehr geringe. Bei e hat die Spannung offenbar ein wenig nachgelassen; bei ⊓ 2 wurde die Kolbe wieder auf den Arm gesetzt. Dies bewirkt eine deutliche Volumsteigung, eine Erscheinung, die bei schwächeren Reizen während der Spannung wohlbekannt ist. Gleich darauf, im Anfang von B, sinkt das Volumen indes wieder stark, um erst beim Aufhalten der Spannung, am Schlusse von B, aufs neue zu steigen. Die Pulslänge zeigt folgenden Verlauf:

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl .	6	3	7	10	14	5	5	15	11	15
Länge .	6.0	5,2	5.5	5.6	6,3	5.2	6.5	6.1	6,5	6,4

In beiden Fällen erzeugt die Unlust also Pulsverkürzung, diese geht aber einige Zeit nach der Reizung in Pulsverlängerung über, während die Spannung abnimmt. Das gröfste Interesse gewährt indes zweifelsohne die vorübergehende Volumsteigung mit nachfolgender Senkung, die während der verminderten Spannung bemerkt wird; die nämliche Erscheinung findet sich in der folgenden Kurve:

Tab. XLIII. C. 13/3 96 abends. A. L. Schmerzhafter Wärmereiz während Spannung.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	11	2	3	4	10	9
Länge . . .	4.8	4,2	3.8	5,3	4,5	5,1

Der Wärmereiz wurde hier dergestalt angebracht, dafs ein tiefes Gefäfs mit 55° C. warmem Wasser von unten um den schlaff herabhängenden linken Arm geführt wurde. Bei ⊾ 1 wurde die Wärme markiert, bei ⊾ 2 war die Hitze so stark, dafs die V-P ein Gebrüll ausstiefs, worauf das Wasser sogleich entfernt wurde; bei ⊾ 3 war der Schmerz in allem Wesentlichen verschwunden. Die Kurven zeigen denn auch, dafs die Atmung von diesem Punkte an nach den gewaltigen, den Schmerz begleitenden Respirationsbewegungen wieder regelmäfsig wird. Die Volumkurve zeigt deutlich die erwähnte Volumsteigung mit nachfolgender Senkung,

Digitized by Google

worauf das Volumen allmählich steigt, während die Spannung nachläſst. Analoge Verhältnisse sieht man Tab. XLII, C.

Es ist wohl kaum zu bezweifeln, daſs alle diese Kurven uns geradezu die Summation derjenigen Äuſserungen zeigen, welche die gleichzeitigen psychischen Zustände jeder für sich herbeiführen würden. Doch scheint die Volumverminderung der Unlust häufig die Oberhand zu haben, so daſs die Kurven ein sehr geringes Sinken erweisen. Am besten tritt die Kombination der gleichzeitigen Wirkungen indes hervor, wenn die anfänglich vorhandene Spannung eine verhältnismäſsig geringe ist. Während in diesem Falle ein schwächerer Reiz, wie wir oben sahen, nur ein vorübergehendes Steigen des Volumens bewirkt, erhält man bei stärkeren unangenehmen Reizen erst ein kurzes, geringes Steigen, darauf ein Sinken. Dies ist offenbar die Folge davon, daſs die Volumsenkung der Unlust länger andauert als diejenige, welche durch eine Konzentration der Aufmerksamkeit allein erzeugt wird. Sie wird deshalb nur anfänglich dem Steigen der Spannungsverminderung weichen, gewinnt aber später die Oberhand. Besonders Kurve XLIII, C verläuft offenbar ganz dem in Fig. 6 gezeichneten Schema gemäſs. Auch die Pulshöhe sieht man hier in der nämlichen Richtung variieren. Unser Resultat wird also:

Während eines bestehenden Zustands der Spannung wird ein unlusterregender Reiz die gewöhnlichen Äuſserungen der Unlust hervorrufen, was die Atmung und die Pulslänge betrifft, während das Armvolumen Veränderungen zeigt, welche Resultanten der Volumsenkung der Unlust und der gleichzeitigen Volumsteigung der Spannungsverminderung sind. Ist die Spannung eine starke, so bleibt das Volumen daher fast unverändert mit schwacher Neigung zum Sinken; bei geringerer Spannung entsteht ein vorübergehendes Steigen, nachgefolgt von einem Sinken.

Lustzustände. Es ist eine bekannte Sache, daſs die körperlichen Äuſserungen der Lustzustände sich nur

Digitized by Google

sehr schwer nachweisen lassen. Während ich früher fand, dafs alle einfachen Lustgefühle von einer Volumsteigung nebst vergröfserter Pulshöhe begleitet werden[1], haben die meisten späteren Forscher auf diesem Gebiete keinen wesentlichen Unterschied zwischen lust- und unlusterregenden Reizen nachzuweisen vermocht. Wie wir gleich im Folgenden sehen werden, existiert nichtsdestoweniger ein solcher Unterschied, und wenn Autoren, wie Kiesow[2], Shields[3] und Binet[4], diesen nicht zu finden vermochten, sind wahrscheinlich eine ganze Reihe zusammenwirkender Umstände daran schuld. Erstens ist es schwer, starke Lustgefühle hervorzurufen; die wahrgenommenen Wirkungen müssen deshalb auch notwendigerweise schwach sein. Hieraus folgt nun zweitens, dafs die aufgenommenen Kurven sehr deutlich sein, besonders ziemlich grofse Pulshöhen und Pulslängen darbieten müssen, damit kleine Variationen sichtbar werden können. An den mehr als mäfsigen Kurven, die Shields und Binet veröffentlicht haben, wird man nur in seltenen

[1] Die Hauptgesetze, S. 83.

[2] Kiesow: Versuche mit Mossos Sphygmomanometer. Phil. Stud. Bd. XI, S. 41 u. f.

[3] The effect of odours etc. Baltimore 1896.

[4] Binet et Courtier: La vie émotionelle. L'année psychologique III. 1897. Merkwürdigerweise haben die Verfasser dieser umfassenden experimentellen Studie sich gar nicht darauf eingelassen, den Unterschied zwischen Lust- und Unlustreaktionen zu untersuchen. Über den früher von mir nachgewiesenen Unterschied wird bemerkt (S. 68): »Cette distinction serait bien curieuse, si elle était vérifiée par d'autres auteurs et pouvait être tenue pour exacte. Malheureusement elle est démentie par un auteur récent, Shields ...« Damit wird die Sache als abgethan betrachtet; die einzigen von den Verfassern (S. 87 u. f.) angeführten Versuche über Lustgefühle sind an Kindern angestellt worden und betreffen Gemütsbewegungen so zusammengesetzten Charakters, dafs sie durchaus nicht geeignet sind, das vorliegende Problem zu entscheiden. Meines Erachtens müfsten die erwähnten, sich widerstreitenden Beobachtungen für denjenigen, welcher die Sache einer Revision unterziehen will, besonderen Anlafs enthalten, sorgfältige Untersuchungen anzustellen. Dies hat Herr Binet jedoch nicht gethan; vielleicht möchte er sich veranlafst finden, mir auf folgende Fragen Antwort zu geben: Kraft welches Satzes der Logik hat derjenige, der eine Behauptung verneint, unbedingt und unbesehen recht? Gibt es gar nicht die Möglichkeit, dafs Shields weniger sorgfältig gearbeitet hätte, und dafs der erwähnte Unterschied deshalb seiner Aufmerksamkeit entgangen wäre?

Digitized by Google

günstigen Fällen erwarten können, diejenigen Variationen zu gewahren, von denen hier die Rede ist. Endlich mufs die V-P sich anfänglich in völlig normalem Gleichgewicht des Geistes befinden, denn jede selbst noch so unbedeutende Änderung dieses Zustandes wird gewöhnlich Äufserungen erzeugen, welche die schwachen Wirkungen der Lustgefühle durchaus verwischen. Auch dies scheinen die genannten Verfasser aber nicht beachtet zu haben; namentlich Shields scheint für den subjektiven Zustand seiner Versuchspersonen ganz unzulässige Gleichgültigkeit erwiesen zu haben. Wenn der Herr Expastor Shields die halbschlummernden Versuchspersonen durch einen angenehmen Geruchsreiz weckt, so glaubt er, die entstandene starke Volumsenkung sei eine Äufserung der Lust. Es fällt ihm nicht ein, dafs sie einzig und allein davon die Folge sein könnte, dafs das Individuum geweckt wird, und dafs man die Erscheinungen mit ganz andrer Vorsicht behandeln mufs, wenn man die Hoffnung hegen will, Gesetzmäfsigkeiten zu finden. Obgleich er einmal über das andre sieht, wie das Armvolumen sehr bedeutend steigt, weil die V-P immer schläfriger wird, vergleicht er dennoch ohne weiteres die Äufserungen, die er für denselben Reiz erhält, ohne Rücksicht darauf, ob die V-P übrigens normal, ganz oder halb schläfrig ist. Und das Resultat: »There is not one feature common to these various curves. There is scarcely a resemblance between any two of them«[1], ist denn auch kein andres, als was von vornherein zu erwarten stand. Wenn Herr Shields nun aber triumphierend dieses Resultat als Beweis gegen meine früher angegebenen Gesetze anführt, so wird er wirklich gar zu naiv. Denn welche Einwürfe sich auch gegen meine älteren Versuche erheben lassen — ich selbst werde im Folgenden deren mehrere anführen —, so habe ich doch mit bedeutend gröfserem Verständnis dessen, worum es sich handelt, gearbeitet, als Shields an den Tag legt. Ich habe mit Versuchspersonen gearbeitet, die, soweit möglich, in normalem Gleichgewicht des Geistes waren, und ich habe niemals behauptet, dafs die unter solchen Verhältnissen gültigen Gesetze auch für halbschlum-

[1] L. c. S. 33.

Digitized by Google

mernde Individuen gültig sein sollten. Findet er daher keine Bestätigung meiner Gesetze, so liegt die Schuld an ihm und nicht an mir.

Aufser dem Umstande, dafs starke Lustgefühle sich nur schwer auf experimentellem Wege hervorrufen lassen, gibt es noch ein anderes Verhältnis, welches viel dazu beiträgt, dafs die Lustreaktionen nicht so leicht zu gewahren sind. Ein Lustgefühl läfst sich natürlich ebensowenig wie ein Unlustgefühl durch äufseren Reiz hervorrufen, ohne dafs zugleich eine Konzentration der Aufmerksamkeit stattfindet. Und dem früher Gesehenen zufolge werden die Wirkungen der beiden gleichzeitigen psychischen Veränderungen sich wahrscheinlich einfach summieren. Deswegen treten die Unlustreaktionen so stark hervor, denn die Unlust erzeugt an und für sich ähnliche Veränderungen wie die reine Konzentration der Aufmerksamkeit. Sind die Lustgefühle aber mit Bezug auf ihre körperlichen Reaktionen das Gegenteil der Unlustgefühle, so sollte die Reaktion daher in Pulserhöhung, Pulsverlängerung und Volumsteigung bestehen. Jedenfalls die beiden letzteren dieser Veränderungen werden direkt von der Pulsverkürzung und Volumsenkung der Aufmerksamkeit bekämpft werden, und der resultierende Ausschlag mufs dann einfach davon abhängig werden, welche der beiden Bewegungstendenzen die stärkere ist. Eben dies erweisen aber die Versuche. Die Pulserhöhung ist fast immer hervortretend, weil die Konzentration der Aufmerksamkeit ihr nicht entgegenarbeitet, die beiden andern Reaktionen sind aber fortwährend Variationen unterworfen. Und diese Variationen scheinen durchweg durch den Zustand der Aufmerksamkeit bestimmt zu sein. Bei kurzen Reizungen, welche die Aufmerksamkeit nur unwillkürlich fesseln, findet gewöhnlich nur ein geringes Sinken des Volumens statt. Die beiden folgenden Kurven sind Beispiele hiervon:

Tab. XLIII, D. 19/11 96 nachm. P. L. Bei ⊓ angenehmer Geruchsreiz, Safran. Volumen des linken Arms.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	14	2	6	20	7
Länge . . .	6,1	6.0	6.1	5,9	6.4

Digitized by Google

Hier ist eine schwache Pulsverkürzung, aber eine bedeutende hinterher folgende Volumsteigung; in der folgenden Kurve wird die Norm nicht überschritten, findet sich dagegen Pulsverlängerung:

Tab. XLIII, E. 19/11 96 nachm. P. L. Bei ⊓ angenehmer Geruchsreiz, Nitrobenzol. Volumen des linken Arms.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	8	2	6	4	10
Länge . . .	6,3	5,3	6,8	6,1	6,4

Wird die Aufmerksamkeit dagegen mehr aktiv angespannt, z. B. weil der Reiz nicht sogleich wieder erkannt wird, was häufig mit den Geruchsreizen der Fall ist, so findet sich meistens auch eine gröfsere Volumsenkung, während die Pulslänge sich übrigens sehr verschieden gestalten kann. So ist in den beiden folgenden Kurven starke Pulsverlängerung:

Tab. XLIV, A. 24/9 96 nachm. A. L. Bei ⊓ angenehmer, nicht erkannter Geruchsreiz, Menthol.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	21	3	6	10	18
Länge . . .	4,7	4,4	5,5	5,1	5,5

Tab. XLIV, B. 24/9 96 nachm. A. L. Bei ⊓ 1 angenehmer, nicht erkannter Geruch, Chloral. Bei ⊾ 2 Erschrecken.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	18	4	5	9	7
Länge . . .	5,3	4,8	6,1	5,8	5,9

In den beiden folgenden Kurven, wo das subjektive Verhältnis so ziemlich das nämliche war wie in den beiden vorhergehenden, sieht man dagegen Pulsverkürzung, jedoch ein Steigen des Volumens bis über das ursprüngliche Niveau:

Tab. XLIV, C. 1/10 96 nachm. P. L. Bei ⊓ überraschender, angenehmer Geruch, Patschuli.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	20	3	6	7	11	5
Länge . .	6,1	5,0	6,5	4,9	5,5	6,5

Tab. XLIV, D. 29/9 96 nachm. J. N. Bei ⊓ nicht sogleich erkannter, angenehmer Geruch, Rosenöl. Volumen des linken Arms.

Digitized by Google

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	11	2	9	10	5
Länge . . .	5,7	5,1	5,6	5,2	5,4

Nur selten erhält man eine so reine Äufserung des Lustgefühls wie in der folgenden Kurve:

Tab. XLV, A. 29/9 96 nachm. A. L. Bei ⊓ erkannter, angenehmer Geruch, Safran.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	16	4	6	6	13	13
Länge . .	5,2	4,9	5,3	5,2	4,6	5,4

Als Gegenstück gebe ich eine andere Kurve wieder, die zunächst zeigt, wie wenig dazu gehört, die eigentümliche Reaktion des Lustgefühls zum vollständigen Verschwinden zu bringen. Diese Kurve steht in meiner Materialsammlung übrigens ganz einzig da:

Tab. XLV, B. 29/10 96 nachm. Dr. B. Bei ⊓ sehr angenehmer Geruch, Menthol. Plethysmogramm des linken Arms, rechter Radialispuls.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	14	3	10	16	23
Länge . . .	4,7	4,2	4,7	4,2	4,6

Wahrscheinlich ist es die sehr lange und tiefe Atmung im Verein mit Anspannung der Aufmerksamkeit, die zusammen mit einiger Furcht, der Reiz möchte zu früh aufhalten, diesen merkwürdigen Ausschlag hervorgebracht hat. — Eine obschon ganz geringe körperliche Anstrengung wird stets eine Pulsverkürzung hervorrufen, welche die pulsverlängernde Wirkung des Lustgefühls vollständig überwindet. Und kommt hierzu nur einige Anspannung der Aufmerksamkeit, so läfst die Lustreaktion sich nicht mehr nachweisen. Ein derartiges Verhältnis wird fast immer stattfinden, wenn man Geschmacksreize in der Form fester Stoffe gibt, die erst im Munde aufgelöst werden müssen, weshalb die V-P einige Zeit auf die Empfindung zu warten hat. Dies illustrieren die folgenden drei Kurven:

Tab. XLV, C. 5/11 96 nachm. A. L. Bei ⋋ 1 ein Stück Zucker, bei ⋋ 2 der Geschmack. Volumen des linken Arms, rechte Radialis.

Digitized by Google

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	10	2	10	16	7	18
Länge . . .	5,2	5,0	4,6	4,7	4,6	4,6

Tab. XLV, D. 19/11 96 nachm. P. L. Bei ⋋ 1 pulverisierte Schokolade, bei ⋋ 2 der Geschmack. Plethysmogramm des linken Arms.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	13	6	15	9
Länge . . .	5,9	5,8	5,2	5,1

Tab. XLVI, A. 29/10 95 abends. H. K. Bei ⋋ Schokoladekuchen.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	20	4	2	6	25	32
Länge . . .	3,4	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3

Bei Lustgefühlen höherer Art werden die Reaktionen nicht selten so stark, dafs die gleichzeitige Anspannung der Aufmerksamkeit, die notwendigerweise ebenfalls recht bedeutend werden mufs, die Wirkung nicht gänzlich zu verdecken vermag. Beispiele hiervon geben die folgenden Kurven:

Tab. XLVI, B 24/9 96 nachm. P. L. Von ⋋ 1 bis ⋋ 2 wurde eine heitere Melodie gespielt.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	5	14	17	24
Länge . . .	4,5	4,7	4,7	5,4

Die Kurve zeigt vón Anfang des Reizes an ein allmähliches, aber geringes Sinken, worauf sie bis über das ursprüngliche Niveau steigt, und dieses Steigen setzt sich nach dem Aufhören des Reizes fort. Ebenfalls findet sich eine fortwährende Pulsverlängerung von Anfang der Reizung an, nach derselben eine ziemlich bedeutende Pulserhöhung. Ganz das nämliche wiederholt sich im folgenden Versuche:

Tab. XLVI, C u. D. 14/4 96 nachm. A. L. Von ⋋ 1 bis ⋋ 2 eine Photochromie, bei ⋋ 3 wird die angenehme Stimmung durch eine unangenehme Aufgabe unterbrochen, deren Lösung die V-P verweigerte. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l	l-m
Anzahl .	4	3	4	17	4	6	3	4	9	9	20
Länge .	7,0	6,7	7,0	7,1	7,2	7,0	7,0	6,7	7,0	7,3	7,4

Digitized by Google

Man sieht, dafs sowohl die Volum-, als die Pulsveränderungen dieselben sind wie im vorhergehenden Falle: namentlich ist es interessant, zu gewahren, dafs die eigentliche Volumsteigung erst nach dem Aufhören der Reizung eintritt. Die Betrachtung des Bildes — einer hübsch ausgeführten sogenannten Photochromie — verlangt offenbar so viel Aufmerksamkeit, dafs das Lustgefühl nicht zur Geltung kommen kann; erst wenn die psychische Arbeit — das Betrachten — aufgehört hat, vermag die hierdurch erregte Stimmung sich zu äufsern. Die Unterbrechung dieser Stimmung wirkt natürlich unangenehm mit Volumsenkung und Pulsverkürzung, in der Phase h-i, darauf steigt das Volumen aber noch mehr mit hohen und langen Pulsen. — Wenn die Konzentration der Aufmerksamkeit sich völlig eliminieren läfst, müssen die Äufserungen des Lustgefühls natürlich vollkommen rein hervortreten; dies sieht man in der folgenden Kurve:

Tab. XLVI, E. 4/7 96 nachm. A. L. Von ⊾1 bis ⊾2 spontan auftauchende, sehr angenehme Erinnerung.

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	9	19	9	7
Länge . . .	6,7	6,6	6,7	6,6

Hier äufsert sich die Lust durch starke Volumsteigung und Pulserhöhung, wogegen die Pulslänge eher abnimmt, wenn auch nur sehr wenig. Endlich werde ich einen ziemlich einzigen Fall anführen, wo eine psychische Arbeit wegen ihrer Leichtigkeit ein entschiedenes Lustgefühl erregte:

Tab. XLVII. A. 8/10 96 nachm. A. L. Von ⊾1 bis ⊾2 sehr leichtes Rechenexempel mit Vergnügen ausgerechnet.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . .	7	3	4	8	7
Länge . . .	4,9	4,7	4,9	5,1	5,4

Das Lustgefühl äufsert sich hier teils durch Pulsverlängerung, teils durch bedeutende Abnahme der bei der Konzentration der Aufmerksamkeit gewöhnlichen Volumsenkung.

Vergleicht man nun alle hier betrachteten Kurven mit den entsprechenden durch unlusterregende Reize

Digitized by Google

entstandenen, so wird man schwerlich umhin können, zu sehen, dafs zwischen denselben ein ziemlich wesentlicher Unterschied besteht. Am deutlichsten ist der Unterschied hinsichtlich des Pulses; während Unlustzustände durchweg verminderte und verkürzte Pulse erzeugen, ist die Erhöhung und Verlängerung den Lustgefühlen ebenso charakteristisch. Weniger hervortretend ist der Unterschied der Volumveränderungen, die in beiden Fällen fast auf dieselbe Weise verlaufen; während die Volumsenkung bei Unlustgefühlen aber wenigstens ebenso grofs ist als bei der reinen Konzentration der Aufmerksamkeit, ist sie bei den Lustzuständen entschieden kleiner. Rein erfahrungsgemäfs kann man also behaupten:

Einfache lustbetonte Empfindungen und andre, nur wenig zusammengesetzte Lustzustände äufsern sich durch Pulserhöhung und Pulsverlängerung, während das Volumen gewöhnlich nur gleich im Anfang der Reizung ein geringes Sinken zeigt, worauf es rasch bis über das ursprüngliche Niveau steigt. Selten oder nie sieht man jedoch alle drei Veränderungen in derselben Kurve hervortreten; findet sich Erhöhung und Verlängerung des Pulses, so wird wohl kaum ein Steigen des Volumens erscheinen; bei Pulserhöhung und Volumsteigung wird man keine Pulsverlängerung finden u. s. w. Je geringer die Konzentration der Aufmerksamkeit ist, um so mehr treten die charakteristischen Äufserungen der Lustgefühle hervor. Die beobachteten Veränderungen lassen sich deswegen als eine Summation der widerstreitenden Wirkungen erklären, welche die Konzentration der Aufmerksamkeit und das Lustgefühl, jedes für sich, hervorbringen würden.

Lustgefühle während Spannung. Im Vorhergehenden stellten wir fest, dafs jeder Reiz, der die Aufmerksamkeit zu fesseln vermag und folglich zugleich eine bestehende Spannung vermindert, eine gröfsere oder kleinere Volumsteigung hervorrufen wird. Ebenfalls wurde nachgewiesen, dafs Lustgefühle die Neigung

Digitized by Google

haben, sich durch Volumsteigungen zu äufsern. Da beide diese psychischen Erscheinungen in derselben Richtung wirken, können wir also erwarten, dafs ein lusterregender Reiz eine sehr bedeutende Volumvergröfserung zur Folge haben wird, wenn nur die vorhandene Spannung keine gar zu starke ist. Und was hier von den Volumveränderungen gesagt ist, gilt übrigens auch von den Pulshöhen, die sowohl bei Lustgefühlen, als bei Verminderung der Spannung zunehmen. Von der Pulslänge dagegen läfst sich wohl kaum etwas voraussagen, da die Spannung keinen konstanten Einflufs auf deren Verhalten hat und Lustgefühle keineswegs stets eine Pulsverlängerung bewirken, namentlich nicht, wenn zugleich eine Zunahme des Volumens und der Pulshöhe stattfindet. Die Richtigkeit dieser Betrachtung geht aus den folgenden drei Kurven hervor:

Tab. XLVII, B—D. 9/5 96 nachm. C. J. Verschiedene lusterregende Reize während Spannung.

Zu dem Zeitpunkte, da dieser Versuch angestellt ward, war es mir nur ausnahmsweise gelungen, in der betreffenden V-P die konstante, starke Spannung zum Verschwinden zu bringen. Ich bemühte mich fortwährend, um Mittel zur Erreichung dieses Zwecks zu finden. Dadurch, dafs ich die V-P in ununterbrochener, aber nicht zu anstrengender Thätigkeit erhielt, glaubte ich meine Absicht am leichtesten erreichen zu können. Eines Tages liefs ich deshalb die ruhig sitzende V-P einen schwachen Lichtpunkt beobachten, der wegen der unvermeidlichen Schwankungen der Aufmerksamkeit bald aufloderte und bald wieder verschwand. Es dauerte denn auch nicht lange, bis diese Arbeit eine sehr ersichtliche Verminderung der Spannung bewirkte. Diesen Moment zeigt XLVII, B. Bei ⊓ markierte die V-P gerade ein Aufleuchten des Lichtpunktes: es erweist sich, dafs die hierzu erforderliche Konzentration der Aufmerksamkeit zugleich eine Abnahme der Spannung veranlafst, die durch Steigen des Volumens und Anwachsen der Pulshöhe erkennbar ist. Die Messung gibt:

Phase	a-b	b-c	c-d
Anzahl . . .	12	7	12
Länge	4,9	4,7	4,5

Digitized by Google

Ein wenig mehr als 2 Min. liefs ich die V-P sich noch mit dieser Arbeit belustigen, die dann unterbrochen wurde, da die Spannung kaum mehr nachzuweisen war. Die Kurve C ist gleich nach dem Aufhören der Thätigkeit genommen; sie zeigt anfangs eine Neigung zu erneuerter Spannung, die indes bald wieder verschwindet. Bei ʌ 1 gab ich das Rechenexempel 13×14, bei ʌ 2 kam die Beantwortung. Die auffallende Volumsteigung während dieser Arbeit — die V-P war im Kopfrechnen nicht gewandt, und dergleichen Aufgaben gefielen ihr deshalb gar nicht — wird jedoch verständlich, da die V-P lebhafte Freude darüber fühlte, dafs die Geschichte doch nicht ärger war. Die Kurve D ist die unmittelbare Fortsetzung von C; die Nullllinie ist 20 mm erhoben, vgl. die Tafel. Hier ist wieder ein spontan eintretendes Steigen. Dies rührt von einer angenehmen Erinnerung her: die Gedanken der V-P waren auf Sonnenschein, Bäume und Blumen geraten. Die Kurven bestätigen unsere Erwartungen also vollständig, indem sie sehr starke Volumsteigungen und Pulserhöhungen als Resultat von Verminderung der Spannung und gleichzeitigen Lustgefühlen erweisen. Die Pulslänge dagegen bietet nichts von Bedeutung dar:

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	30	11	15	12	25	34
Länge . . .	4,9	4,9	4,6	4,5	4,5	4,7

Die grofsen Ausschläge der vorhergehenden Kurven rühren wahrscheinlich von dem Umstande her, dafs die Spannung während der aufeinander folgenden Reize ganz verschwunden ist. Bei maximaler Spannung dagegen werden Lustgefühle wahrscheinlich ebensowenig als andre Zustände wesentlichen Einflufs auf die Spannung üben, und folglich kann man auch keine grofsen Volumveränderungen erwarten. Dafs die Pulslänge dagegen in diesem Falle merkbar zunimmt, zeigt die Erfahrung. Ein Beispiel hiervon wurde schon Tab. XXI, E gegeben, wo eine Photochromie — von ʌ 1 bis ʌ 2 — nur ein geringes Steigen des Volumens bewirkt. Die Messung, die bei dem Buchstaben l in der Kurve D anfängt, zeigt dagegen bedeutende Pulsverlängerung:

Digitized by Google

Phase . . .	l-m	m-n	n-o	o-p
Anzahl . . .	18	2	30	7
Länge . . .	5,6	5,0	6,3	6,3

Ein ähnliches Verhältnis ist in der nächsten Kurve zu sehen, wo zwar eine geringere Pulsverlängerung, aber auch bedeutendere Volumveränderung ist:

Tab. XLVII, E u. XLVIII, A. 21/4 96 nachm. C. J. Spannung, bei ⊾1 Vorzeigen einer Photochromie, die bei ⊾2 entfernt wird.

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	8	8	18	40	16	5	19	5	16
Länge .	4,4	4,1	4,2	4,4	4,3	4,4	4,5	4,6	4,3

Während des Betrachtens des Bildes entsteht hier, ebenso wie in mehreren früheren Fällen, keine gröfsere Wirkung; erst hinterher, wenn die V-P sich der hervorgerufenen Stimmung überläfst, tritt eine starke Volumsteigung mit Pulsverlängerung ein (Phase f-h). Die V-P äufserte, sie habe, kurz nachdem das Bild entfernt worden sei, gänzlich vergessen, dafs sie sich im Apparate befinde; deutliche Anzeichen der Spannung sind denn auch sowohl am Schlufs, als am Anfange des Versuchs zu sehen. Ein ähnliches Experiment ist wiedergegeben:

Tab. XLVIII, B u. C. 23/4 96 nachm. P. L. Spannung, bei ⊾1 Schokolade gereicht, die bei ⊾2 geschmeckt wird; bei ⊾3 verschwand der Geschmack, kam aber bei ⊾4 wieder.

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	18	9	8	10	6	13	20	14	17
Länge . .	5,0	5,3	4,7	4,7	4,2	4,8	5,4	5,3	5,8

Es ist hierbei zu beachten, dafs die körperliche Arbeit, welche die Auflösung der Schokolade im Munde erfordert, stets eine Pulsverkürzung und Volumsenkung herbeiführt (vgl. S. 133). Also erst nach Beendigung dieser Arbeit kann sich das Lustgefühl geltend machen. Demgemäfs sieht man, wie das Volumen von f an mit stark verlängertem Puls ein wenig steigt. Die gewaltige Volumsteigung am Schlusse der Kurve C rührt von dem Aufhören der Spannung gegen Ende des Versuchs her; analoge, an derselben V-P eingetroffene Fälle sind Tab. XXIII und XXIV wiedergegeben.

Digitized by Google

Ich habe allen möglichen Grund zu der Vermutung, dafs meine in den »Hauptgesetzen« besprochenen Versuche über die Lustgefühle keine reinen waren. Die dort Tab. I, A u. C wiedergegebenen Kurven haben so grofse Ähnlichkeit mit den hier gefundenen Äufserungen der Lustgefühle während Spannung, dafs ich durchaus nicht bezweifeln kann, dafs meine damaligen Versuchspersonen ebenfalls an diesem Zustande litten. Dies ist um so wahrscheinlicher, da die beiden erwähnten Kurven aus den ersten Tagen der alten Versuche herrühren, wo das Ganze uns noch durchaus neu war, und die Versuchspersonen sich noch nicht hatten an die Situation gewöhnen können.

Unser Resultat wird also:

Während einer bestehenden geringen Spannung werden Lustgefühle sich durch sehr bedeutende Zunahme des Armvolumens und der Pulshöhe äufsern, während die Pulslänge keine wesentliche Veränderung erleidet. Ist die Spannung dagegen eine sehr starke, so werden die Lustgefühle nur geringe Zunahme des Volumens und der Pulshöhe bewirken, während die Pulslänge stark anwächst. Auch diese Äufserungen lassen sich als eine Summation derjenigen Wirkungen auffassen, welche das Lustgefühl und die stärkere oder schwächere Abnahme der Spannung, jedes für sich, herbeiführen würden.

Die Konzentration der Aufmerksamkeit auf den Gefühlston. Wenn die Aufmerksamkeit im Momente der Reizung eine neue Richtung nimmt, so kehrt sie sich auf natürliche Weise der durch den Reiz ausgelösten Empfindung zu. Diese natürliche Richtung der Aufmerksamkeit ist bisher stets gemeint gewesen, wo von einer Lenkung der Aufmerksamkeit auf den Reiz oder die erzeugte Empfindung die Rede war. Bekanntlich verhindert aber nichts, dafs man die Aufmerksamkeit willkürlich dem Gefühl, der mit der Empfindung verknüpften Gefühlsbetonung zukehrt. Wie letztere alsdann geschwächt wird, hat Külpe auf Grundlage von Selbstbeobachtungen auseinandergesetzt[1]. Ferner hat

[1] Grundrifs der Psychologie. Leipzig 1893. S. 266 u. f.

Digitized by Google

er es versucht, den durch die beiden verschiedenen Richtungen der Aufmerksamkeit entstehenden Unterschied der körperlichen Äufserungen zu bestimmen. Er sagt hierüber: »In einigen Versuchen, die ich mit dem Sphygmographen an einer Versuchsperson anstellte, die aber natürlich gar nicht beanspruchen, einen exakten Aufschlufs über die hier vorliegenden Verhältnisse zu geben, schien eine regelmäfsige Annäherung der Aufmerksamkeitskurve (so nenne ich kurz das Sphygmogramm, das bei Richtung der Aufmerksamkeit auf das Gefühl erhalten wurde) an die vor dem Versuch festgestellte normale oder Indifferenzkurve nur bei Lustgefühlen stattzufinden. Die unter der Herrschaft der Unlust erhaltene Verlangsamung des Pulses wird dagegen durch die angegebene Richtung der Aufmerksamkeit noch vergröfsert.«

Wenn »Verlangsamung des Pulses« kein blofser Druckfehler ist, wenn Külpe wirklich in Unlustzuständen langsameren Puls gefunden hat, so liefert dies einen guten Beweis, wie wenig man sich auf diese Art von Versuchen verlassen kann, wenn sie in Eile von einem ungeübten Experimentator ausgeführt werden, nur um eine einzige kleine Detailfrage abgemacht zu sehen. Külpe hat wahrscheinlich, wie wir unten sehen werden, so starke und plötzliche Reize angewandt, dafs der hervorgerufene Zustand zunächst ein Erschrecken war. Dafs alle andere Unlust geschwinderen Puls verursacht, möchte wohl dem hier Nachgewiesenen zufolge aufser allen Zweifel gestellt sein. Um nun, womöglich, eine etwas zuverlässigere Beantwortung des erhobenen Problems zu erhalten, habe ich den Külpeschen Versuch häufig an verschiedenen Versuchspersonen angestellt. Es gelingt jedoch nicht leicht, denselben unter Bedingungen auszuführen, die das Resultat auch nur einigermafsen unangreifbar machen. Die Schwierigkeit, die es verursacht, die Aufmerksamkeit auf die Gefühlsbetonung gerichtet zu erhalten, hat Külpe bereits erwähnt; sie wurde ebenfalls von meinen Versuchspersonen bemerkt. Schlimmer ist es indes, dafs es fast unmöglich wird, bis zum Anfang des Versuches das normale Gleichgewicht des Gemüts zu bewahren. Ist vorher wegen einer solchen ungewöhnlichen Richtung

Digitized by Google

der Aufmerksamkeit Verabredung getroffen, so erwartet man in einer gewissen Spannung das Eintreten des Reizes; die Kurven verraten deutlich die Spannung, und es wird zweifelhaft, welches Gewicht der späteren Richtung der Aufmerksamkeit auf die Gefühlsbetonung beizulegen ist. Ist dagegen keine Verabredung getroffen, erwartet man nichts, so mufs man sich erst besinnen, um der Aufmerksamkeit eine besondere Richtung zu geben, dann zwängt dieser Gedanke sich aber in den Versuch hinein, und wieder wird das Resultat zweifelhaft. Im Folgenden gebe ich einige einzelne Kurven wieder, die ich unter diesen verschiedenen Umständen erhalten habe; ich sehe mich indes nicht im stande, ein bestimmtes Resultat hieraus abzuleiten.

Tab. XLVIII, D. 23/4 96 nachm. P. L. Verabredete Konzentration der Aufmerksamkeit auf das Gefühl, deshalb Erwartung. Bei ⊓ 76° C. warmes Wasser in einer Kolbe auf den Arm.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	16	4	6	10	11
Länge . . .	6,2	5,5	6,2	6,3	6,6

Die geringe Abnahme des Volumens ist gewifs ausschliefslich der Spannung zuzuschreiben; zum Vergleich dient die Kurve XLIII, A, die an demselben Tage unter ganz denselben Verhältnissen, aber ohne andre Richtung der Aufmerksamkeit als die natürliche genommen wurde. Die letztere Tafel zeigt unstreitbar eine länger anhaltende Pulsverkürzung, jedoch die nämlichen Volumverhältnisse.

Tab. XLVIII, E. 4/5 96 abends. A. L. Erwartung des Reizes. Bei ⊾ 1 76° C. warmes Wasser in einer Kolbe auf den Arm, entfernt bei ⊾ 2; entschieden schmerzhaft. Konzentration der Aufmerksamkeit auf das Gefühl.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . .	17	4	9	5	5	17
Länge . . .	4,9	4,5	4,4	4,8	4,6	5,4

Der Fall ist dem vorigen ganz analog; die Spannung bewirkt, dafs das Volumen sich fast nicht verändert. Ob die Pulsverkürzung gröfser oder geringer ist, als sie ohne die ungewöhnliche Richtung der Aufmerksam-

Digitized by Google

keit sein würde, läfst sich wohl kaum entscheiden. — Etwas besser ist der folgende Versuch, wo die Spannung jedenfalls keine starke war.

Tab. XLIX, A u. B. 21/4 96 nachm. A. L. Erwartung des Reizes. Bei ∧ 1 starker Ammoniakgeruch, unangenehm, die Aufmerksamkeit auf das Gefühl gerichtet. Bei ⊓ 2 ein Ton, unwillkürliche, nicht auf das Gefühl gerichtete Aufmerksamkeit. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k
Anzahl .	7	9	12	10	3	5	5	12	16
Länge . .	6,4	5,6	5,6	5.8	6,4	6,0	6,7	6,4	6,9

Die eintretende Erwartung ist gleich im Anfang von A zu sehen; sie verliert sich indes ein wenig vor dem Anfang des Versuches und ist also nicht besonders stark. Unter diesen Verhältnissen würde ein Unlustgefühl normal eine kurze Volumsteigung mit nachfolgender Senkung herbeiführen (vgl. Tab. XLIII, A—C), davon findet sich hier aber keine Spur. Dieser Unterschied ist gewifs der anstrengenden Konzentration der Aufmerksamkeit auf das Gefühl zuzuschreiben, wodurch die bei Abnahme der Spannung stattfindende Volumsteigung ausgeglichen wird. In der Pulslänge findet sich kaum etwas, das ungewöhnliche Verhältnisse andeutete. Der fernere Verlauf, in der Kurve B, bietet nichts von Interesse dar, indem die Pulsverlängerung der unwillkürlichen Aufmerksamkeit hinlänglich bekannt ist; die Kurve ist auch nur mitgenommen, um das Aufhören der Spannung am Schlusse zu zeigen. — Ganz andre Erscheinungen bietet der folgende Versuch:

Tab. XLIX, C. 21/4 96 nachm. A. L. Bei ∧ plötzlicher, starker Ammoniakgeruch, der ein Erschrecken bewirkte, weil er durchaus nicht erwartet war. Die Aufmerksamkeit gleich auf das Gefühl konzentriert.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	17	3	5	14	7
Länge . . .	6,3	5,3	6,7	6,2	6,5

Die Kurve C ist 1 Min. nach B genommen. Die V-P glaubte, die Versuche seien abgeschlossen, und safs ruhig, während eine Normalkurve aufgenommen wurde; der plötzliche und starke Reiz bewirkte deswegen im

Digitized by Google

ersten Augenblick ein Erschrecken, die V-P erholte sich jedoch bald und richtete die Aufmerksamkeit auf das durch den Ammoniakgeruch erzeugte Unbehagen. In dem Volumen und der Pulshöhe ist nichts Eigentümliches zu sehen; das Erschrecken und die hinterher folgende Unlust wirken hier wesentlich in der nämlichen Richtung. Dagegen zeigt es sich, dafs die Pulsverlängerung des Erschreckens, in der Phase c-d, von der Pulsverkürzung des zweiten Unlustgefühls abgelöst wird, in der Phase d-e; welchen Einflufs die Richtung der Aufmerksamkeit auf das Gefühl gehabt hat, ist wohl nicht zu entscheiden. Ganz unmöglich ist es eben nicht, dafs die gleich darauf folgende Pulsverlängerung, in der Phase e-f, davon herrühren kann, dafs die Unlust unter dem Einflufs der auf sie gerichteten Aufmerksamkeit verschwindet. Wahrscheinlich sind es Versuche dieser Art, die Külpe vor Augen gehabt hat. Durch Anwendung allzu plötzlicher und starker Reize hat er vorerst ein Erschrecken hervorgerufen, und wegen der besonderen Richtung der Aufmerksamkeit auf die hinterher folgende Unlust verschwindet letztere und wird von Pulsverlängerung abgelöst. Im Sphygmogramm lassen sich die abwechselnde Verlängerung und Verkürzung in den einzelnen Phasen nur schwer auseinander halten, und deshalb erblickt Külpe eine mehr ausgeprägte Verlängerung, wenn die Aufmerksamkeit sich der Unlust zukehrt, als wenn dies nicht stattfindet, weswegen sich die Pulsverkürzung der Unlust längere Zeit hindurch geltend macht. Dürfte man etwas auf diese einzelnen Versuche stützen, so müfste das Resultat wohl am ehesten dies werden, dafs die durch Unlust bewirkte Pulsverkürzung bei der Richtung der Aufmerksamkeit auf das Gefühl schneller verschwindet, als es sonst geschehen würde. Dies würde dann mit dem übereinstimmen, was die Selbstbeobachtung uns über den psychischen Zustand lehrt; wie gesagt, ist das auf die vorliegenden Versuche begründete Resultat aber wohl kaum unangreifbar.

Besser gelingen dergleichen Versuche mit Lustgefühlen, deren körperliche Äufserungen durch Richtung der Aufmerksamkeit auf das Gefühl völlig aufgehoben werden, was mit dem durch Selbstbeobachtung über

den psychischen Zustand Erfahrenen übereinstimmt. Ich führe nur einen einzelnen typischen Fall an, der unter günstigen Umständen genommen wurde, indem die Erscheinung von selbst, auf natürliche Weise, ohne vorhergehende Verabredung eintrat. Der Reiz war eine Photochromie, welche die V-P schon mehrmals gesehen hatte, und welche deshalb keinen tieferen Eindruck machte, die zu geniefsen sie sich aber dennoch anstrengte:

Tab. XLIX, D. 19/11 96 nachm. A. L. Photochromie, die Aufmerksamkeit auf das Gefühl gerichtet, um dieses zu verstärken.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl . . .	7	3	9	9	34
Länge . . .	5,2	4,5	5,1	4,3	4,8

Hier ist weder im Volumen, noch im Pulse andres als konzentrierte Aufmerksamkeit zu finden, keine Spur wirklicher Lust.

Der wechselseitige Einflufs der Gefühle. Wir stehen nun der Frage gegenüber, die mehr als irgend eine andre theoretisches Interesse hat: Wie verhalten sich die körperlichen Äufserungen, wenn zwei verschiedenartige Zustände sich gleichzeitig im Bewufstsein geltend zu machen suchen? Und speziell: Wenn das Bewufstsein von einem einzelnen Zustande völlig beherrscht wird, welchen Einflufs auf die körperlichen Erscheinungen wird dann ein äufserer Reiz haben? Wird er im stande sein, auf den Organismus zu influieren, selbst wenn er keine Spuren im Bewufstsein hinterläfst, oder sind die körperlichen Veränderungen ausschliefslich an die Bedingung geknüpft, dafs vorher eine Veränderung des Bewufstseinszustandes geschehe?

A priori lassen sich diese Fragen nicht beantworten, nicht einmal auf Grundlage des im Obigen Gefundenen. Wir sahen freilich wiederholt, wie zwei gleichzeitige psychische Zustände jeder für sich ihre körperlichen Äufserungen hervorbringen, die sich dann zu einer einzelnen Resultante zusammensetzen. Die neuen Verhältnisse sind den früher betrachteten jedoch nicht analog. Hier war nämlich der eine Zustand stets eine notwendige Bedingung, um den andern entstehen zu lassen.

Digitized by Google

Wenn z. B. während eines Spannungszustandes die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten äufsern Reiz gelenkt wird, so ist diese neue Richtung dadurch bedingt, dafs die Aufmerksamkeit geteilt wird, so dafs die vorhandene Spannung zugleich abnimmt. Es liegt deshalb nichts Sonderbares darin, dafs sowohl die neue Konzentration der Aufmerksamkeit, als die gleichzeitige Abnahme der Spannung jede für sich einen Ausschlag geben, dessen Resultante wir in der Kurve gewahren. Ähnlicherweise verhält es sich, wenn ein Reiz einen Gefühlszustand hervorruft. Damit dieser entstehe, mufs die Aufmerksamkeit auf den Reiz gerichtet werden. Die Aufmerksamkeit ist also die notwendige Bedingung, damit ein bestimmter Bewufstseinszustand erscheine, die Aufmerksamkeit selbst ist aber kein Bewufstseinszustand, der neben dem andern besteht. Dafs man auf etwas aufmerksam ist, dessen wird man sich wohl nie früher direkt bewufst als in dem Augenblick, da die Aufmerksamkeit im Begriffe steht, sich davon zu machen, und wo sie willkürlich und mit Anstrengung in bestimmte Richtung gelenkt wird. Im Vorhergehenden ist ebenfalls wiederholt hervorgehoben worden, wie schwer oder fast unmöglich es einer Person ist, festzustellen, dafs sie sich in Spannung befindet. Der Zustand tritt unwillkürlich ein und hinterläfst eigentlich keine Spuren im Bewufstsein; er ist nur die Bedingung eines künftigen Bewufstseinszustandes. Solange man wirklich auf etwas aufmerksam ist, dies sei nun ein Gegenwärtiges oder ein Künftiges (Spannung, Erwartung), wird man sich seiner Aufmerksamkeit nicht bewufst. So lange ist die Aufmerksamkeit also kein Zustand, der im Bewufstsein mit andern Zuständen um den Platz kämpft. Erst wenn man ihr mit Anstrengung eine den Umständen nach unnatürliche Richtung geben will, wird man sich ihrer bewufst, und alsdann kann sie andre Zustände aus dem Bewufstsein verdrängen. Hierin liegt wohl die Erklärung der oben erwähnten Erscheinung, dafs die Richtung der Aufmerksamkeit auf ein Gefühl das Gefühl zum Verschwinden bringt. Denn diese Richtung ist eine unnatürliche, deshalb wird man sich der Aufmerksamkeit oder vielmehr der sie begleitenden organischen Empfindungen bewufst, und somit schwindet der andre

Digitized by Google

Bewufstseinszustand, das Gefühl, das man eigentlich festhalten wollte. Sehen wir also von solchen speziellen Verhältnissen ab, so ist die Aufmerksamkeit nur die notwendige Bedingung des gleichzeitigen Bewufstseinszustandes, und es liegt dann nichts Auffälliges darin, dafs jeder dieser Faktoren seine besonderen Äufserungen erzeugt, deren Resultante wir gewahren.

Ganz anders stellt sich die Sache in denjenigen Fällen, welche wir jetzt behandeln werden. Hier ist die Rede nicht von zwei Verhältnissen, deren eines das andre bedingt, sondern von zwei Zuständen, deren jeder für sich die Aufmerksamkeit anzuziehen und im Bewufstsein der alleinherrschende zu werden sucht. Es leuchtet unmittelbar ein, dafs das Gesetz, das wir unter ganz andern Verhältnissen geltend fanden, sich nicht ohne weiteres hierauf übertragen läfst. Wenn jeder der beiden Zustände seine besonderen körperlichen Äufserungen erzeugt, so kann es selbstverständlich keinem Zweifel unterworfen sein, dafs wir eine gemeinsame Resultante dieser gleichzeitigen Äufserungen erhalten. Die Frage ist aber die: Was ist die Bedingung, damit zwei Zustände, deren jeder für sich im Bewufstsein der alleinherrschende zu werden sucht, körperliche Veränderungen erzeugen? Dies vermögen wir nicht auf Grundlage unserer früheren Erfahrungen zu entscheiden, die uns nur Zustände zeigten, welche sich notwendigerweise gegenseitig bedingten. Es sind hier also andre Erfahrungen erforderlich. Aufserdem sind noch mehrere verschiedene Fälle einer Erhellung benötigt. I. Wenn ein Bewufstseinszustand A durch einen neuen Zustand B völlig verdrängt wird, wie geht es dann mit den körperlichen Reaktionen? Bleiben die des A unverändert neben denen des B bestehen, und fliefsen sie mit letzteren zu einer gemeinsamen Resultante zusammen, oder verschwinden die körperlichen Äufserungen des A zugleich mit A? II. Wenn der neue Zustand B nicht im stande ist, den vorhergehenden A gänzlich zu verdrängen, wie verhält es sich dann mit den körperlichen Äufserungen? Kommen diese in voller Stärke zum Vorschein, oder werden sie in demselben Mafse abgeschwächt, wie sich die Aufmerksamkeit unter die beiden Bewufstseinszustände teilt? III. Wenn ein ursprünglicher Zustand A

Digitized by Google

im Bewufstsein so alleinherrschend ist, dafs ein neuer Zustand B gar nicht vordringen kann, wie geht es dann mit den körperlichen Äufserungen des B? Unterbleiben diese gänzlich, oder wird der äufsere Reiz, der B hervorrufen sollte, im stande sein, auf den Organismus zu influieren, trotzdem B für das Bewufstsein nicht existiert?

Wir werden nun mit Hilfe des vorliegenden Materials diese Fragen zu beantworten suchen und nehmen hierbei die einzelnen Punkte in der genannten Reihenfolge vor.

Soll es einem neuen Gefühl gelingen, ein früheres völlig zu verdrängen, so mufs es wenigstens ebenso grofses Gewicht und ebenso grofse Bedeutung besitzen wie das im voraus gegebene. Nur bei kleinen Kindern läfst sich ein wirklicher Kummer durch ein Stückchen Schokolade oder ein ähnliches Mittel kurzen Genusses aufheben; bei Erwachsenen läfst sich dies natürlich nicht thun. Bei diesen sind wir, wenn es sich um Experimente handelt, ausschliefslich darauf angewiesen, mit elementaren Lust- und Unlustgefühlen zu operieren; allenfalls auf den Gebieten des Geschmacks und des Geruchs können diese indes von so langer Dauer sein, dafs die Versuche nicht durchaus mifsweisend werden. Die folgende Tafel, L, bietet zwei Beispiele derartiger Versuche dar, wo ein unangenehmer Geschmack oder Geruch durch eine angenehme Reizung desselben Sinnes völlig verdrängt wird.

Tab. L, A u. B. 17/12 96 nachm. P. L. Bei ⊾ 1 ein Theelöffel 10prozentiger schwefelsaurer Chininauflösung, bei ⊾ 2 eine grofse Dosis pulverisierter Schokolade, die den Chiningeschmack gänzlich entfernte. Plethysmogramm des linken Arms. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i
Anzahl . . .	19	3	16	26	6	10		19
Länge . . .	5,0	5,0	4,7	4,9	6,1	4,8		5,4

Es war der V-P 2 Min. vorher eine Dosis Chinin gegeben in der Absicht, das hier dargestellte Experiment auszuführen; verschiedene Umstände bewirkten indes dessen notwendiges Aufschieben, und sie erhielt deshalb aufs neue eine kleine Dosis, deren Wirkung

Digitized by Google

durch die erste nicht geschwächt zu sein scheint. Sowohl das Volumen, als die Pulshöhe und die Pulslänge zeigen alle bekannten Veränderungen der Unlust. Man sieht auch, dafs die Schokolade, die höchst angenehm wirkte, indem sie fast augenblicklich den bitteren Geschmack entfernte, alle Äufserungen eines Lustgefühls, sogar in stark vergröfsertem Mafsstabe, nach sich zog; hier ist nicht nur ein ungewöhnliches Steigen des Volumens und Pulserhöhung, sondern aufserdem auch Pulsverlängerung, die selten mit den andern Erscheinungen vereint vorkommt. Es sieht unleugbar aus, als ob diese ungewöhnliche Reaktion nicht der neuen, positiven Lust allein, sondern auch der verschwindenden Unlust ihr Entstehen verdankte. Wir haben oben bemerkt, wie die Pulslänge langsam bis zur Norm zurückkehrt, während das Volumen und die Pulslänge diese sogar übersteigen, wenn ein Unlustgefühl aufhört. Im vorliegenden Versuche scheint dies fast plötzlich zu geschehen, wenn das neue Lustgefühl auftaucht und seine Reaktionen hervorruft. Mit andern Worten: die gesamte wahrgenommene Wirkung scheint die Summe der Äufserungen des Lustgefühls und der durch das Verschwinden des Unlustgefühls hervorgebrachten Veränderungen zu sein. Der folgende Versuch scheint dies indirekt zu bestätigen, indem aus demselben hervorgeht, dafs man nichts als die gewöhnlichen Äufserungen des Lustgefühls erhält, wenn die Unlust in der Hauptsache schon verschwunden ist:

Tab. L, C u. D. $^{8}/_{10}$ 96 nachm. A. L. Bei ⊾ 1 plötzlich starkes Ammoniak, das die Nase fürchterlich kratzte; bei ⊾ 2 Verschwinden des Schmerzes. Bei ⌈⌉ 3 Einatmung von Chloroform, das alles übriggebliebene Unbehagen entfernte. D die unmittelbare Fortsetzung von C.

Phase .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i	i-k	k-l
Anzahl .	32	2	4	4	10	26	2	8	9	10
Länge .	5,2	5,2	6,3	4,9	5,1	5,7	4,8	6,0	5,4	5,9

Der Versuch ist in mehreren Beziehungen interessant. Erstens zeigt er wieder, wie ein plötzlicher starker Geruchsreiz, ebenso wie unter ähnlichen Verhältnissen ein Schall, im ersten Augenblick ein Erschrecken und damit Pulsverlängerung hervorruft (in

Digitized by Google

der Phase c-d); letztere macht jedoch sogleich einer Pulsverkürzung Raum, indem sich das besondere Unlustgefühl geltend macht (in der Phase d-f). (Der Buchstabe f ist auf der Tafel 3 Pulsschläge zu weit nach rechts angebracht; die Pulsverkürzung hört augenscheinlich gerade über ⊼ 2 auf.) Ferner sieht man, dafs der Puls genau von dem Augenblick an, da die V-P das Aufhören des Schmerzes markiert hat, länger und höher wird; ein geringes Unbehagen blieb doch immer als Nachwirkung der starken Reizung zurück. Dieses verschwindet völlig beim Einatmen des Chloroforms; da Volumen und Puls indes bereits zur Norm zurückgekehrt sind, zeigt das Lustgefühl keine ungewöhnlichen Äufserungen.

Betrachten wir jetzt diejenigen Fälle, in welchen der neue Bewufstseinszustand nur eine kurze Zeit hindurch das bestehende Gefühl vergessen läfst, dieses jedoch nicht zu beseitigen vermag. Ein typisches Beispiel hiervon gibt:

Tab. LI. A. 10/3 96 nachm. A. L. Sehr deprimierte Stimmung; bei ⊼ 1 eine Rechenaufgabe (17×67), bei ⊼ 2 die Antwort.

Phase	a-b	b-c	c-d
Anzahl . . .	20	22	17
Länge	5,3	4,9	4,7

Es fällt in die Augen, dafs die Rechenaufgabe statt der gewöhnlichen Volumsenkung der Denkarbeit ein Steigen des Volumens bewirkt; überdies verschwinden die charakteristischen Respirationsoszillationen fast während der Arbeit, was vielleicht doch davon herrührt, dafs die Atmung hier durchweg weniger tief ist. Die Messung zeigt die gewöhnliche Pulsverkürzung der Aufmerksamkeit. Das Eigentümlichste ist also das Verhalten des Volumens. Dies scheint sich nicht wohl anders erklären zu lassen als durch die Annahme, dafs die Depression während der Arbeit abnimmt. Nun sahen wir aber, dafs während einer deprimierten Stimmung wahrscheinlich eine Verminderung des Volumens und der Pulshöhe stattfindet; ein Abnehmen der Depression mufs sich also durch Zunehmen des Volumens und der Pulshöhe äufsern. Diese Zunahme des Volumens scheint

Digitized by Google

so bedeutend zu sein, dafs sie die Volumsenkung der psychischen Arbeit gänzlich überwindet, und es finden sich denn auch schwache Andeutungen einer vergröfserten Pulshöhe. Dieser Versuch stimmt also mit dem vorher Gefundenen ganz überein. Wir sahen dort, dafs ein Gefühl, welches ein andres gänzlich verdrängt, nicht nur seine eignen Reaktionen herbeiführt, sondern auch zugleich die Reaktionen des früheren Zustands zum Verschwinden bringt. Hier sehen wir, dafs schon allein das Vergessen eines Gefühlszustandes, indem die Aufmerksamkeit von einer Denkthätigkeit in Anspruch genommen wird, eine ähnliche Wirkung hat, solange diese Thätigkeit dauert. Hieraus scheint es also hervorzugehen, dafs die Äufserungen eines Zustands von der Stärke abhängig sind, mit welcher der Zustand sich im Bewufstsein zur Geltung bringt; im Folgenden werden wir dies durch mehrere verschiedenartige Beispiele bestätigt finden.

Tab. LI, B. 31/3 96 nachm. C. J. Kopfschmerz, bei ⊓ eine erheiternde Melodie.

Phase	a-b	b-c
Anzahl	23	25
Länge	5,1	5,3

Dieses Beispiel ist insofern ein weniger geeignetes, da wir nicht wissen, wie ein körperliches Übelbefinden, wie Kopfschmerz, sich äufsert. Es ist indes wohl keine falsche Annahme, dafs dasselbe sich wie jede andre Unlust durch Pulsverkürzung, Pulsverminderung und kleines Volumen Ausdruck gibt. Nun sieht man, dafs die Melodie eine Volumsteigung, Pulserhöhung und Pulsverlängerung bewirkt. Da eine derartige Kumulation der Äufserungen des Lustgefühls unter gewöhnlichen Verhältnissen fast niemals stattfindet, wird es ziemlich wahrscheinlich, dafs die Abnahme der vorhandenen Unlust an der Entstehung dieses Resultats mitbeteiligt ist. In den folgenden Kurven ist ein derartiges Zusammenwirken unzweifelhaft.

Tab. LI, C. 10/3 96 vorm. A. L. Fühlt Kälte; bei ↑ 1 ein Rechenexempel, 23 × 47, bei ↑ 2 die Beantwortung.

Digitized by Google

Phase	a-b	b-c	c-d	d-e
Anzahl . . .	13	4	7	10
Länge	7,8	7,0	7,1	6,7

Die Kurve wurde an demselben Tage genommen wie LI, A, jedoch vor dem Eintreffen des Ereignisses, das die Depression erzeugte. Die V-P hatte draufsen das Frösteln bekommen, und es dauerte einige Zeit, bis sie »auftaute«. Die Wirkungen einer solchen anhaltenden, weitverbreiteten Kälteempfindung kennen wir; sie bestehen in Abnahme des Volumens und der Pulshöhe nebst Verlängerung des Pulses. Demgemäfs sieht man denn auch, dafs der Puls anfangs aufserordentlich langsam ist, 46 pro Min. Die Denkarbeit bewirkt nun eine sehr geringe Veränderung des Volumens; die beiden ersten der drei bekannten Phasen: Steigen, Sinken und Steigen, lassen sich kaum gewahren, während die Kurve sich in der letzten Steigung bis über das ursprüngliche Niveau erhebt, bei vergröfserter Pulshöhe. Die Pulslänge ist bedeutend verkürzt. Dies alles ist leicht verständlich, wenn man annimmt, dafs die körperlichen Äufserungen der Kälte geschwächt werden, weil die Denkarbeit die Kälteempfindung aus dem Bewufstsein verdrängt. Eine Schwächung der Wirkungen der Kälte mufste Zunahme des Volumens und der Pulshöhe nebst Pulsverkürzung bewirken. Indem diese Veränderungen sich mit den Äufserungen der Denkarbeit addieren, wird die Volumsenkung ausgeglichen, so dafs nur die letzte Steigung deutlich hervortritt, ebenso wie die Pulshöhe auch in dieser Phase merkbar zunimmt; und da ferner beide Erscheinungen eine Pulsverkürzung erzeugen, mufs diese eine sehr bedeutende werden. Sobald die Aufmerksamkeit nicht mehr von der Rechenaufgabe in Anspruch genommen wird, tritt wieder die Kälteempfindung mit allen ihren Äufserungen ein, wie der Schlufs der Kurve zeigt. Noch eigentümlicher tritt diese Summation in dem folgenden Versuche hervor, der ½ Min. später als der eben besprochene angestellt wurde.

Tab. LI, D u. E. 10/3 96 vorm. A. L. Fühlt beständig Kälte; bei ↖ 1 bitterer Chiningeschmack, der bei ↖ 2 wieder sehr hervortretend ist. E unmittelbare Fortsetzung von D.

Digitized by Google

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h	h-i
Anzahl . .	10	4	7	7	15	15	3	7
Länge . . .	7,8	6,4	6,0	6,3	6,9	7,5	7,0	7,6

Die Verhältnisse, namentlich die der Pulslänge, sind anfänglich ganz dieselben wie vorher. Ungefähr bei b wurde die gewöhnliche Dosis Chinin gegeben; nur das Eintreten der Geschmacksempfindung bei ⋉ 1 wurde markiert. Die Volumveränderungen treten ein wenig mehr hervor als im vorigen Versuche. Die Pulshöhe nimmt in der Phase c-d auch merkbar ab, am meisten fällt aber die enorme Pulsverkürzung in die Augen. Das Resultat ist wie früher als ein Zusammenwirken der Äufserungen der Unlust und der aufgehobenen Kälteempfindung zu verstehen, welches namentlich Pulsverkürzung bewirken mufs, da die andern Reaktionen sich gegenseitig bekämpfen. Diese Versuche kamen mir so merkwürdig vor, dafs ich sie an verschiedenen Personen zu wiederholen suchte, indem die Kälteempfindung auf künstlichem Wege hervorgebracht wurde. Die folgenden Kurven zeigen derartige Versuche, die alle das nämliche Resultat geben, so dafs wir uns hierüber in Kürze fassen können.

Tab. LII, A u. B. 16/11 96 vorm. J. N. Bei ⊓ 1 Äther an den rechten Unterarm gespritzt, bei ⋉ 2 Rechenaufgabe, 13×27, bei ⋉ 3 die Antwort. Plethysmogramm des linken Arms. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g	g-h
Anzahl . .	20	24	4	2	6	11	13
Länge . . .	5,7	5,6	6,1	5,3	5,4	5,2	5,3

Um eine hinlänglich andauernde Kälteempfindung zu erzielen, war ein kräftiger Ätherreiz erforderlich. Die Folge ist eine sehr unangenehme Kälteempfindung mit gewaltiger Volumsenkung (das Müllersche Ventil ist in fortwährender Thätigkeit zu sehen, zum letztenmal eben vor c) und geringe Pulsverkürzung, die in der Phase c-d indes in Verlängerung übergeht. Die Denkarbeit bewirkt eine neue Volumsenkung, indem das Ventil, wie man sieht, bei den letzten drei Pulsschlägen vor f in Thätigkeit gewesen ist. Darauf bedeutende Volumsteigung. Nachdem die Arbeit aufgehört hat,

Digitized by Google

tritt die Kälteempfindung mit geringem Volumen von neuem ein; schliefslich verschwindet sie jedoch ganz.

Tab. LII, C u. D. 9/11 96 vorm. A. L. Bei ⊓ 1 Ätherspray auf den rechten Arm, bei |\ 2 Rechenaufgabe, 96×48, bei |\ 3 die Antwort. Volumen des linken Arms, rechte Radialis. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Hier wurde das Müllersche Ventil nicht benutzt, weshalb gegen Schlufs des Ätherreizes das Druckventil geöffnet werden mufste. Sonst unterscheiden der Versuch und seine Ergebnisse sich kaum wesentlich von den früheren. Schliefslich ist noch ein Experiment derselben Art wiedergegeben:

Tab. LIII, A. 12/11 96 nachm. P. L. Bei ⊓ 1 Ätherspray auf den rechten Arm, bei ⊓ 2 Durchlesen einer Reihe sinnloser Silben, bei |\ 3 die Repetition beendigt. Plethysmogramm des linken Arms.

Der Ätherreiz ist hier nicht so anhaltend wie bei den früheren Versuchen, weshalb die Volumsenkung auch nicht so grofs ist. Die durch die Denkarbeit hervorgerufenen Volumveränderungen zeigen freilich die gewöhnlichen drei Phasen, aber während des Sinkens geht das Volumen nicht bis unter das unmittelbar vorhergehende Niveau, so dafs die gesamte Veränderung sich als ein vorübergehendes Steigen des Volumens ausnimmt. Dies ist leicht verständlich, wenn man voraussetzt, dafs die körperliche Äufserung der Kälte beim Vergessen der Kälteempfindung abnimmt. Denn je schwächer diese Empfindung ist, um so leichter wird sie sich aus dem Bewufstsein verdrängen lassen, und um so leichter verschwinden ihre Äufserungen. Deshalb vermag die Denkarbeit in diesem Falle nicht wie in den früheren das Volumen noch ferner zu vermindern. Der Versuch scheint mir aus dem Grunde einige Bedeutung zu haben, weil er eine andre naheliegende Erklärung widerlegt. Man könnte sich nämlich denken, dafs wir bei allen diesen Versuchen das Volumen während der Denkarbeit nicht ferner vermindert sähen, weil das Volumen überhaupt nicht kleiner werden könnte; eine Grenze mufs seine Verminderung notwendigerweise haben. Ganz davon abgesehen, wie unwahrscheinlich es ist, dafs eine kurze Abkühlung des einen Arms das

Digitized by Google

Volumen des andern bis zum Minimum bringen sollte, ist diese negative Erklärung erstens durchaus nicht im stande, die vorkommenden Pulsveränderungen zu deuten. Aufserdem müfste sie notwendigerweise verlangen, dafs ein ferneres Sinken des Volumens um so weniger möglich sei, je stärker die Abkühlung ursprünglich gewesen wäre. Alle meine Kurven zeigen aber gerade das Verhalten, das hier durch ein paar einzelne Kurven beleuchtet wurde: je schwächer der bestehende Zustand ist, und je leichter er sich folglich beseitigen läfst, um so leichter tritt ein Steigen statt eines Sinkens des Volumens ein. Das Verhältnis ist ganz dem analog, was wir von der Spannung kennen; nur während der schwachen Spannung, die leicht aufzuheben ist, sehen wir die grofsen vorübergehenden Volumsteigungen. Es scheint mir also keinen Zweifel erleiden zu können, dafs die wahrgenommenen Reaktionen wirklich zum Teil davon herrühren, dafs die körperlichen Äufserungen abgeschwächt werden, indem die Aufmerksamkeit sich von dem vorher gegebenen Bewufstseinszustand abwendet.

Falls dies richtig ist, falls es sich wirklich so verhält, dafs die körperlichen Reaktionen aufgehoben oder allenfalls abgeschwächt werden, wenn der psychische Zustand, an welchen sie geknüpft sind, aus dem Bewufstsein verdrängt wird, so folgt hieraus, dafs ein Reiz, der nicht zum Bewufstsein gelangt, sich auch keine körperliche Äufserung gibt. Diese Konsequenz scheint in der Erfahrung Bestätigung zu finden. Mentz beobachtete mehrmals, dafs ein zufälliges Geräusch auf den Puls und die Atmung der V-P durchaus nicht influierte; die nähere Untersuchung ergab, dafs in allen solchen Fällen die V-P das Geräusch gar nicht gehört hatte. Er kommt daher zu dem Resultat: »Ein wirkliches Durchdringen des Reizes zum Bewufstsein scheint nötig zu sein, um die Puls- und Atemverlängerung zu erzielen«[1]. Um womöglich eine fernere Bestätigung dieses äufserst wichtigen Satzes zu erhalten, stellte ich einige Versuche auf die Weise an, dafs ich die V-P sich in eine gröfsere

[1] Die Wirkung akustischer Sinnesreize auf Puls und Atmung, Phil. Stud. Bd. XI, S. 83.

Digitized by Google

Rechenaufgabe vertiefen lieſs, die ihre ganze Aufmerksamkeit beanspruchte; wenn sie gut in Gang gekommen war, wurde der eine Arm mittels eines kräftigen Ätherstrahls abgekühlt. Kommt dieser Reiz nun nicht zum Bewuſstsein, weil die Aufmerksamkeit andere Richtungen eingeschlagen hat, so sollten auch die körperlichen Reaktionen der Kälte nicht eintreten. Dies geht nun auch aus den Versuchen hervor.

Tab. LIII. B u. C. $^{10}/_{12}$ 96 nachm. A. L. Anfangs einige Gemütsbewegung, Furcht, es möchte nicht gelingen, die Aufmerksamkeit ausschlieſslich beim Rechnen zu halten. Bei ⊾ 1 Rechenaufgabe, 17×342, bei ⊓2 Ätherbesprengung des rechten Arms. Bei ⊾ 3 das Fazit der Rechenaufgabe angegeben; ⊓4 Wiederholung der Ätherbesprengung der Kontrolle wegen. Volumen des linken Arms, rechte Radialis. C ist die unmittelbare Fortsetzung von B.

Das niedrige Volumen, der schnelle Puls und die Respirationsoszillationen verraten die Gemütsbewegung, die sich doch vor dem Beginn des Versuchs etwas verloren hat. Die Denkarbeit erzeugt die bekannten Veränderungen; die Volumsenkung ist indes nur eine geringe, wahrscheinlich als Folge davon, daſs die Gemütsbewegung zugleich abnimmt, wodurch das Volumen etwas zunehmen muſs. Es findet sich aber keine Spur davon, daſs die Abkühlung bei ⊓2 den allergeringsten Einfluſs auf das Volumen hätte: sie gelangte überhaupt gar nicht zum Bewuſstsein der V-P. Vergleicht man hiermit die starke Volumsenkung, welche die kürzere und schwächere Abkühlung bei ⊓4 verursacht, so ist es wohl kaum zu bezweifeln, daſs die Konzentration der Aufmerksamkeit vollständig verhindert hat, daſs der Reiz zum Bewuſstsein kam, wodurch dessen körperliche Äuſserungen mithin ausgeschlossen wurden. Ganz unangreifbar ist der Versuch zwar nicht, weil es sich unmöglich entscheiden läſst, welchen Anteil an diesem Resultate die fortwährend abnehmende Gemütsbewegung hat. Sicher ist es aber jedenfalls, daſs das Volumen sich hier sehr weit von einem Minimum befindet, so daſs darum die Abkühlung sehr wohl eine Senkung hätte hervorrufen können. Es gibt deshalb nur zwei Arten, wie sich das Unterbleiben der Reaktion erklären läſst.

Entweder kann man annehmen, dies rühre von dem Umstande her, dafs der Reiz gar nicht zum Bewufstsein gelangt sei. Oder man kann annehmen, das Abnehmen der Gemütsbewegung bewirke eine so starke Volumsteigung, dafs die Volumsenkung der Abkühlung hierdurch ausgeglichen würde. Letzteres ist jedoch höchst unwahrscheinlich, weil die starke Volumsteigung mit vergröfserter Pulshöhe am Ende der Kurve C darauf hindeutet, dafs die Gemütsbewegung sich erst hier verloren hat. Es bleibt also nur die erstere Möglichkeit zurück.

Dieser eine Versuch ist so gründlich diskutiert worden, weil es der einzige Fall ist, in welchem es der V-P vollständig gelang, dem Empfinden des äufseren Reizes zu entgehen, während sie sich in eine Arbeit vertieft hatte. Bei allen meinen andern Versuchen dieser Art gelangte der Reiz mehr oder weniger zum Bewufstsein, und somit wurde eine Reaktion natürlich unvermeidlich. Diese Reaktionen sind aber durchweg so schwach, dafs sie deutlich anzeigen, wie die körperliche Äufserung vom Bewufstseinszustande abhängig ist. Ich gebe nur einen einzelnen dieser Versuche wieder, der ungefähr eine Viertelstunde nach dem oben besprochenen mit derselben V-P angestellt wurde:

Tab. LIII, D. $^{10}/_{12}$ 96 nachm. A. L. Völlig ruhig; bei ⋏ 1 Rechenaufgabe, 23×331, bei ⊓ 2 Besprengung des rechten Arms mit Äther; bei ⋏ 3 das Fazit angegeben. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f
Anzahl. . .	8	5	3	2	17
Länge . . .	4,5	4,2	4,2	4,1	4,2

Die V-P gab an, es sei ihr nicht gelungen, sich recht in die Aufgabe zu vertiefen, als die Besprengung mit Äther begann, weshalb sie die Kälte einen kleinen Augenblick empfunden habe. Diese Empfindung sei während der Denkarbeit doch gleich danach verschwunden. Ausgenommen, dafs die Kurve ein Sinken c-f zeigt, welches weit mehr Pulse umfafst, als die Konzentration der Aufmerksamkeit zu bewirken pflegt, findet sich sonst keine Spur, dafs die Abkühlung sich geäufsert

Digitized by Google

hätte. Dieser geringe Einfluſs eines sonst kräftigen Reizes ist wohl zunächst als ein Beweis zu betrachten, daſs der Bewuſstseinszustand, nicht aber der Reiz für die körperliche Äuſserung entscheidend ist[1]. Alle unsre Erfahrungen gehen also in derselben Richtung:

Ein äuſserer Reiz muſs bis zum Bewuſstsein durchdringen, um organische Reaktionen verursachen zu können. Und je mehr ein psychischer Zustand die Aufmerksamkeit zu fesseln und sich im Bewuſstsein Geltung zu verschaffen vermag, um so mehr treten auch seine körperlichen Äuſserungen hervor. Hieraus folgt, daſs ein Bewuſstseinszustand A, der von einem andern, B, vollständig verdrängt wird, auch seinen Einfluſs auf den Organismus verliert, wenn B eintritt. Die von B hervorgebrachte körperliche Reaktion wird deshalb die Resultante der Äuſserungen des B und derjenigen Veränderungen, welche das Verschwinden des A zur Folge hat. Wird der ursprüngliche Zustand A nicht völlig von dem neuen Zustande B verdrängt, sondern nur einen Augenblick lang vergessen, so wird die gesamte Reaktion ebenfalls die Resultante der Äuſserungen des B und der durch Verminderung des A herbeigeführten Veränderungen. Letzteres wird namentlich der Fall sein, wenn der ursprüngliche Bewuſstseinszustand ein anhaltendes Gefühl, eine Stimmung oder eine betonte Empfindung ist, deren äuſsere Ursache zu bestehen fortfährt.

[1] Wenn Ribot (Psychologie des sentiments, S. 32) zu dem entgegengesetzten Resultate gelangt, rührt dies wohl von seinem sonderbaren Glauben her, man könne aus einigen — nicht einmal völlig übereinstimmenden — physiologischen Versuchen an hirnlosen Tieren etwas über die Verhältnisse eines normalen Menschen schlieſsen. Da dergleichen Schlüsse nicht ungewöhnlich sind, müssen die betreffenden Forscher wohl davon ausgehen, daſs entweder kein psychischer Unterschied zwischen einem hirnlosen Frosch und einem völlig entwickelten Menschen existiere, oder auch, daſs der psychische Unterschied ganz bedeutungslos sei, weil das Psychische überhaupt im Dasein überflüssig sei. Letzterer Ansicht scheint Ribot sich zunächst zuzuneigen.

Digitized by Google

ANALGESIE WÄHREND DER STICKSTOFFOXYDUL-NARKOSE.

Die Gültigkeit des Satzes, zu dem wir am Schlusse des vorigen Abschnitts gelangten, ist vorläufig nur mit Bezug auf solche Konflikte verschiedener Zustände dargelegt, wie sie im Bewufstsein eines normalen Menschen vorkommen können. Gilt derselbe aber hier, so ist es a priori wohl kaum zu bezweifeln, dafs er sich auch als unter anormalen Verhältnissen, wie Intoxikationen, hypnotischen Suggestionen u. s. w., welche einen äufseren Reiz daran verhindern können, bis zum Bewufstsein vorzudringen, gültig erweisen wird. In allen solchen Fällen sollte es sich also ebenfalls zeigen, dafs der Reiz keine Veränderungen des Blutkreislaufes zu erzeugen vermag. Wir beginnen nun mit der Untersuchung, ob diese Konsequenz unsrer früheren Resultate rücksichtlich der Stickstoffoxydul-Narkose stichhaltig ist.

Die erforderliche Anleitung zum Hervorrufen einer Stickstoffoxydul-Narkose findet sich in Jumon: Manuel d'anesthésie par le protoxyde d'azote, Paris 1895; die hier gegebenen Anweisungen wurden im ganzen befolgt. Da es für unsre Versuche nicht notwendig war, einen so lange dauernden anästhetischen Zustand zu erzeugen, als sich überhaupt erreichen läfst, sondern nur dasjenige Stadium der Analgesie, das gewöhnlich dem vollständigen Verlust des Bewufstseins vorhergeht, war ein verhältnismäfsig kurz dauerndes Einatmen genügend. Wie aus den Tafeln hervorgehen wird, wechselte die Dauer des Einatmens von 10 bis 14 Atemzügen, und dabei wurden durchschnittlich nur 10 Liter Gas verbraucht, ein wenig mehr als halb so viel, als gewöhnlich zur Erzeugung einer vollständigen Anästhesie für notwendig gerechnet wird. Da alle Versuchspersonen junge, kräftige Leute waren, zeigte sich während der ganzen Betäubung niemals ein einziges beunruhigendes Symptom. Übrigens war stets ein Arzt anwesend, der seinen Platz am Kymographen hatte, wo er mit Hilfe der aufgezeichneten Kurven am sichersten zu kontrollieren vermochte, ob alles normal verlief.

Digitized by Google

Mit Bezug auf den subjektiven Zustand der Versuchspersonen ist zu bemerken, dafs in keinem einzigen Falle ein Stadium der Erregung oder Heiterkeit gewahrt wurde, welches zuweilen der Analgesie vorausgeht. Der ganze Verlauf war stets ein völlig ruhiger, wenn man ausnimmt, dafs bei jedem, der zum erstenmal als Versuchsperson dienen sollte, eine ziemlich natürliche Ängstlichkeit vorhanden war. Bei späteren Wiederholungen scheint diese Gemütsbewegung sich gar nicht geltend gemacht zu haben. Die angewandte Dosis Stickstoffoxydul scheint regelmäfsig genügt zu haben, um Analgesie ohne Anästhesie hervorzubringen. Die meisten Versuchspersonen gaben nämlich an, sie hätten deutlich die Berührung der Apparate mit der Haut bemerkt, der Schmerz sei jedoch vollständig aufgehoben gewesen. Nach dem Versuche verflofs wohl niemals mehr als 1 Minute, bis die V-P wieder durchaus normal war.

Als Mittel zur Hervorbringung des Schmerzes wurden kräftige Induktionsströme angewandt. Vor dem Beginn der Narkose nahm die V-P die eine Elektrode in die Hand; die andre wurde vom Experimentator im rechten Augenblick entweder am Arm, unmittelbar oberhalb des Handgelenks, oder an der Wurzel des Daumens angebracht, selbstverständlich an dem nicht im Plethysmographen eingeschlossenen Arm. Wie oben (S. 111) erwähnt, sind Induktionsströme wegen der durch sie erzeugten heftigen unwillkürlichen Bewegungen nicht besonders geeignet, die anderen charakteristischen Reaktionen des Schmerzes nachzuweisen; wo es aber, wie hier, nur darauf ankommt, festzustellen, dafs die eigentümlichen Reaktionen des Schmerzes unterbleiben, sind sie natürlich sehr wohl zu verwenden. Aufserdem besitzen sie den Vorzug vor jedem andern Mittel, dafs sie keine dauerhafte Verletzung nach sich ziehen, selbst wenn die Stärke oder die Dauer des Reizes zufälligerweise gar zu grofs wird, was bei einem analgetischen Individuum, das nichts fühlt und deshalb auch keine rechtzeitige Anzeige macht, wohl eintreten kann.

Bei Versuchen dieser Art, wo eine wirkliche Intoxikation hervorgebracht wird, ist es natürlich vorerst festzustellen, welchen Einflufs das Gift selbst auf die V-P hat. Ein typisches Beispiel hiervon ist Tab. IV, A—D

Digitized by Google

wiedergegeben. Bei ↖ in der Kurve A fing das Einatmen des Gases an, bei ↖ in der Kurve B hielt es auf. Die V-P wurde durchaus keinem andern Reize unterworfen. Die Kurve zeigt allmähliches Steigen des Volumens mit starken Respirationsoszillationen, solange die Einatmung andauert; hört diese auf, so sinkt das Volumen bis auf das ursprüngliche Niveau. Die folgenden Kurven zeigen, wie S. 43 erwähnt, daſs der Zustand schnell zum völlig normalen Gleichgewicht des Gemüts zurückkehrt. Das eigentümliche Steigen des Volumens während der Einatmung nebst nachfolgendem Sinken, wenn diese aufhört, ist mehr oder weniger entschieden in allen meinen Kurven zu finden. Speziell ist das Sinken für uns von Bedeutung, weil es oft gerade zu dem Zeitpunkte eintritt, da die Analgesie vorhanden ist und man folglich eingreifen muſs. Weiſs man nun nicht, daſs diese Senkung eine normale Folge der Intoxikation ist, so wird sie leicht als eine Reaktion des Schmerzes betrachtet werden können, was eine durchaus miſsweisende Erklärung des Versuches sein würde. Das Verhältnis ist sehr gut durch Tab. XXXIX, A—D illustriert, die S. 121 in anderem Zusammenhange besprochen wurde. Die V-P war hier anfangs ängstlich, was sich leicht aus der Kurve ersehen läſst. Bei ↖ in der Kurve A begann die Einatmung, die bei ↖ 1 in der Kurve B aufhielt; B ist die unmittelbare Fortsetzung von A. Trotz der groſsen Oszillationen ist das Steigen des Volumens während der Einatmung leicht zu verfolgen; von ↖ 1 an beginnt das Volumen wieder allmählich zu sinken. Bei ⊓2 wirkte ein sehr kräftiger Induktionsstrom, dessen Dauer durch das Zeichen angegeben ist. Derselbe bringt tiefe Atmung und eine Muskelkontraktion des Arms hervor, übrigens setzt das Volumen sein allmähliches Sinken fort; daſs dieses durch den Reiz verstärkt werde, ist wohl kaum angedeutet. Die V-P gab denn auch an, sie habe allerdings bemerkt, daſs die Pinselelektrode die Haut berührte, jedoch gar keinen Schmerz verspürt. Die Kurve C zeigt den Zustand 5 Sek. nach B; D ist die unmittelbare Fortsetzung von C. Hier war die V-P wieder völlig normal; der Kontrolle wegen wurde ein momentaner Reiz durch einen Induktionsstrom derselben Stärke wie

Digitized by Google

vorher versucht. Trotz der äufserst kurzen Berührung mit der Elektrode ist die Wirkung eine fürchterliche: gewaltige Kontraktionen der Respirations- sowohl, als der Armmuskeln stören die Kurve vollständig. Vergleicht man diese Wirkung mit der Reaktion während der Analgesie, so mufs man doch wohl sagen, dafs letztere aufserordentlich abgeschwächt ist. Dasselbe geht hervor aus dem Versuche:

Tab. LIV. A—D. 13/5 95 nachm. Dr. N. Elektrische Reize vor, während und nach der Stickstoffoxydul-Narkose.

Die Kurve A zeigt die Wirkung eines momentanen elektrischen Stroms von grofser Stärke: gewaltige Kontraktionen der Atmungs- und Armmuskulatur, aufserdem bedeutende Volumsenkung. Eine halbe Minute später wurde B genommen. Die grofse Volumschwankung zu Anfang deutet vielleicht auf eintretende Spannung hin; dies ist indes zweifelhaft, da die Pulshöhe nicht abnimmt. Bei ⋀ 1 begann die Einatmung des Stickstoffoxyduls, welche das gewöhnliche langsame Steigen des Volumens bewirkt. C ist die unmittelbare Fortsetzung von B. Bei ⋀ 2 hielt die Einatmung auf; die Kurve zeigt, dafs die Volumsenkung bereits stattgefunden hat, so dafs hier keine fernere Veränderung zu gewahren ist. Bei ⊓ 3 ein lange dauernder Induktionsstrom der nämlichen Stärke wie vorher. Hier bemerkt man freilich einen kennbaren Einflufs auf die Atmung und das Volumen, wenn man aber die Dauer des Stromes berücksichtigt, ist die Reaktion im Vergleich mit der früheren, in der Kurve A, indes eine ganz verschwindende. 5 Sek. nach C wurde D genommen. Bei ⋀ ein momentaner elektrischer Stofs: die Wirkung ist nur gering, die V-P gab aber an, sie habe fast gar nichts gemerkt; dies mag nun seinen Grund darin finden, dafs die Analgesie nicht aufgehört hatte, oder auch darin, dafs die Elektrode nicht in hinlängliche Berührung mit der Haut gebracht war. — Auf der folgenden Tafel sind ein paar Kurven wiedergegeben, welche zeigen, wie die Wirkungen des Stickstoffoxyduls von grofser individueller Verschiedenheit sind, indem die Volumsteigung bei einigen Individuen durchaus enorm ist und lange nach dem Aufhalten der Ein-

Digitized by Google

atmung fortwährt, bei anderen dagegen nur wenig hervortritt.

Tab. LV, A u. B. 15/5 nachm. Ly. Bei ⊼ 1 beginnt die Einatmung von Stickstoffoxydul, die bei ⊼ 2 aufhört. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

In der Kurve B sieht man das Volumen unausgesetzt steigen, also lange nachdem die Einatmung aufgehört hat; darauf sinkt es wieder ohne äufseren Anlafs. Im Gegensatz hierzu steht:

Tab. LV, C u. D. 24/5 95 nachm. A. L. Bei ⊼ 1 Einatmung von Stickstoffoxydul, die bei ⊼ 2 aufhört. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Schliefslich gebe ich einen einzelnen Versuch wieder, welcher zeigt, dafs die Stickstoffoxydul-Narkose nicht nur den Schmerz bei Induktionsströmen, sondern auch die Unlust an unangenehmen Reizen anderer Art aufhebt:

Tab. LVI, A u. B. 8/5 95 nachm. A. L. Bei ⊼ 1 hielt die Einatmung von Stickstoffoxydul auf, bei ⊼ 2 wurde ein Theelöffel voll 10% haltigen schwefelsauren Chinins eingenommen; erst bei ⊼ 3 wurde das Unangenehme des Geschmacks bemerkt. Zwischen dem Ende von A und dem Anfang von B liegt ein Zeitraum von 20 Sek.

Hier ist der erste Teil des Versuchs weggelassen, wo die Einatmung begann, da die Wirkungen des Stickstoffoxyduls nun hinlänglich bekannt sind. Die Kurve zeigt, dafs der Geschmacksreiz keine sonderlich intensive Wirkung hat; es findet sich nur eine geringe Volumsenkung nach dem Abschlufs der gleichzeitigen tiefen Atmung. Die V-P gab denn auch an, sie habe freilich einen schwachen bittern Geschmack merken können, jedoch nicht das geringste Unbehagen dabei empfunden. Erst 50 Sek. später, bei ⊼ 3, trat der unangenehme Geschmack deutlich hervor; hier sieht man auch eine starke Volumsenkung.

Während der durch die Stickstoffoxydul-Narkose hervorgerufenen Analgesie vermögen schmerzhafte oder unangenehme Reize zwar Kontraktionen der willkürlichen Muskulatur auszulösen, die organischen Reaktionen sind jedoch entweder vollständig aufgehoben oder

Digitized by Google

allenfalls in demselben Maſse abgeschwächt, wie die Empfänglichkeit für Schmerz erniedrigt ist.

DIE HYPNOSE.

Der eigentliche Zweck der Hypnotisierung war, wie früher erwähnt, die Untersuchung, ob sich während der durch Suggestion hervorgerufenen Analgesie und Anästhesie überhaupt Reaktionen gegen schmerzhafte Reize nachweisen lieſsen. Die rechte Erklärung derartiger Versuche erfordert indes, daſs man zuvörderst die eigentümlichen Äuſserungen der Hypnose kennen lernt. Wir fangen also damit an, daſs wir diese bestimmen, wozu das vorliegende Versuchsmaterial natürlich den erforderlichen Stoff bietet. Da sich auſserdem während der Versuche reichliche Gelegenheit fand, die körperlichen Äuſserungen suggerierter Gefühle und Affekte zu studieren, nehme ich auch einen Teil dieser Experimente mit, mittels deren man weit sicherer, als dies auf irgend eine andre Weise möglich ist, festzustellen vermag, ob ein Mensch wirklich hypnotisiert ist oder nicht.

Als Versuchspersonen bei diesen Versuchen dienten zwei Studenten, eine Dame und ein Herr, die als am leichtesten hypnotisabel unter einer gröſseren Anzahl Freiwilliger, die sich zur Verfügung gestellt hatten, gewählt waren. Die beiden betreffenden Personen boten übrigens keine Anzeichen von Kränklichkeit, Hysterie u. dgl. dar. Die eine war noch nie hypnotisiert worden; die andre war dagegen früher ziemlich oft bei dergleichen Versuchen das Medium gewesen und war dann durch Anstarren eines blanken Gegenstandes in Hypnose gesetzt. Ich bediente mich bei beiden Versuchspersonen ausschlieſslich der reinen Bernheimschen Methode, der Hypnotisierung durch Verbalsuggestion[1]. Es ist vielleicht nicht ohne Bedeutung, zu bemerken, daſs ich während der Hypnotisierung niemals eine vasomotorische Erscheinung[2] (angenehme Wärme der Arme

[1] Bernheim: De la suggestion. 2e éd. Paris 1888.
[2] Forel: Der Hypnotismus. 3. Aufl. Stuttgart 1895. S. 147.

Digitized by Google

und Beine) direkt suggerierte; eine solche Suggestion würde den während der Hypnotisierung aufgenommenen Kurven wahrscheinlich ein etwas andres Aussehen mitteilen als dasjenige, welches die meinigen darbieten. Grofs würde die Abweichung wohl kaum werden, das der Hypnose Eigentümliche würde aber wohl schwerlich so rein hervortreten als in meinen Kurven. Bei allen Versuchen während der Hypnose assistierte mir wenigstens ein Arzt.

Da nach der Bernheimschen Methode die Hypnose durch Schlafsuggestionen hervorgerufen wird, hat man hieraus ganz natürlich den Schlufs gezogen, die Hypnose sei überhaupt dem normalen Schlaf nahe verwandt. Selbstbeobachtungen des Dr. Bleuler[1] und andrer Hypnotisierten[2] haben jedoch dargethan, dafs der Hypnotisierte keineswegs im allgemeinen Sinne des Wortes schläft. Es hat deshalb sein selbständiges Interesse, zu sehen, welche organischen Veränderungen das Eintreten der Hypnose begleiten. Wir sahen oben, dafs beim Eintreten des normalen Schlafs eine bedeutende Volumsteigung im Verein mit erhöhten und verlängerten Pulsen stattfindet; aufserdem bietet die Volumkurve starke Oszillationen und sanfte Undulationen dar. Etwas Ähnliches könnte man von der Hypnose erwarten, wenn diese nur eine Modifikation des normalen Schlafs wäre. Aber in keiner einzigen der mir zu Gebote stehenden zahlreichen Kurven ist etwas von all diesem zu entdecken. Völlig typisch ist das Verhältnis zwischen dem wachen Zustand und der Hypnose Tab. II, A u. B gezeigt. Die Kurve A wurde unmittelbar vor dem Anfang der Hypnotisierung aufgenommen; hier sind starke Undulationen, und die Pulslänge ist durchschnittlich 5.1 (von a-b). Die Kurve B ist 3 Min. später genommen, während die V-P sich in einer leichten Hypnose befand. Das Volumen ist unverändert (die Nulllinie ist 9 mm gehoben, vgl. Tab. II), die Pulshöhe ebenfalls, und alle Undulationen sind so gut wie verschwunden. Die Pulslänge hat aber bis 4,4 (a-b) abgenommen. Zur voll-

---

[1] Forel: Der Hypnotismus. S. 216 u. f.

[2] Wetterstrand: Selbstbeobachtungen während des hypnotischen Zustandes. Zeitschrift für Hypnotismus. Bd. 4. S. 112 u. f.

Digitized by Google

ständigen Erhellung der Sache gebe ich ferner die Kurve, welche aufgenommen wurde, während die Hypnotisierung vorging.

Tab. LVI, C. 3/10 95 abends. Ly. Wird hypnotisiert.

Die Aufzeichnung der Kurve begann mit der Hypnotisierung zugleich. Da keine Veränderungen erschienen, wurde der Kymograph ungefähr 1 Min. angehalten; es war mit dem am Kymographen sitzenden Assistenten verabredet worden, dafs der Cylinder sogleich wieder in Gang gesetzt werden sollte, wenn das geringste Anzeichen von Volumveränderungen zum Vorschein käme; sonst sollten nur mit Zwischenräumen von ungefähr 1 Min. kleine Kurvenstrecken aufgenommen werden, damit man den Zustand sehen könnte. Wie die Kurve zeigt, wurde der Cylinder zweimal angehalten, und es erschien nur eine einzelne, ganz vorübergehende Volumsteigung. Die Kurve ist unterbrochen, indem ihre Fortsetzung Tab. II, B von a an gegeben ist. — Die beiden folgenden Kurven zeigen ganz dasselbe Verhalten bei meinem anderen Medium.

Tab. LVI, D u. E. 8/10 95 abends. H. K. Vor und während der Hypnotisierung.

Der Anfang von D zeigt den Zustand vor dem Beginn der Hypnotisierung; die Pulslänge ist 4,7 (a-b). Während des ersten Aufenthalts von 1 Min. begann die Hypnotisierung; bei ⊾ 1 wurde tieferes und langsameres Atmen suggeriert. Während des nächsten Aufenthalts von 1 Min. schritt die Hypnotisierung ohne Unterbrechung weiter vor; bei ⊾ 2 der Befehl, die Augen zu schliefsen und sie nicht wieder öffnen zu können. Zwischen D und E liegt wieder ein Zeitraum von ungefähr 1 Min. Die Hypnose war jetzt eingetreten. Bei ⊾ 3 wurde der Arm kataleptisch ausgestreckt; die starken Volum- und Atmungsschwankungen rühren von den Bemühungen der V-P her, den Arm sinken zu lassen. Bei ⊾ 4 der Befehl, ihn sinken zu lassen; bei ⊾ 5 begann eine Suggestion, die erst später zur Ausführung kam. Die Pulslänge von c-d ist 4,2, im Vergleich mit der vorhergehenden Norm also wieder verkürzt: im Volumen und in der Pulshöhe ist keine andre Veränderung zu sehen als die, welche von dem Bestreben herrührt, einer bestimmten Suggestion zu widerstehen.

Digitized by Google

Die bei ↑ 5 gegebene Suggestion ging darauf aus, dafs die V-P auf ein gegebenes Zeichen anfangen sollte, bis 20 zu zählen, ohne jedoch im stande zu sein, die Zahlen, welche Multipla von 4 wären, nennen zu können. Der Vollständigkeit wegen gebe ich die Ausführung der Suggestion:

Tab. LVII, A. 8/10 95 abends. H. K. Zählt bis 20, ist aber nicht im stande, die Zahlen 4, 8 und 16 zu nennen; die 12 gelingt dagegen.

Die Kurve ist die unmittelbare Fortsetzung von LVI, E. Das Zählen geschah sehr langsam; die drei langen, sehr zackigen Atemzüge entstanden während der Bestrebungen, die verbotenen Zahlen zu nennen; die 12, die es der V-P zu nennen gelang, bewirkte keine Störung der Atmung. Während dieser Hypnose wurden noch andre Versuche angestellt, auf die wir später zurückkommen werden; hier interessiert uns am meisten das Erwachen. Dieses ist wiedergegeben:

Tab. LVII, B. 8/10 95 abends. H. K. Ist hypnotisiert. Übergang in den normalen Zustand.

Die Pulslänge hat ein wenig zugenommen, sie ist 4.6 in der Phase a-b. Während des in der Kurve zu sehenden Aufenthalts wurde die gewöhnliche Suggestion gegeben: sich nach dem Erwachen wohl zu befinden u.s.w. Der eigentliche Befehl: Aufwachen! erzeugte eine starke Störung der Kurve, indem die V-P eine Reihe Bewegungen machte; gleich darauf sinkt das Volumen jedoch bis aufs vorige Niveau. Um dergleichen Störungen zu vermeiden, gab ich bei späteren Gelegenheiten der V-P stets den Befehl, sich beim Erwachen ruhig zu verhalten; diese Suggestionen wurden immer verwirklicht. Ein Beispiel gibt:

Tab. LVII, C. 14/10 95 abends. Ly. Hypnotisiert; es wird der Befehl erteilt, sich beim Erwachen ruhig zu verhalten u. s. w. Bei N Aufwachen!

Während die Suggestion gegeben wird, bietet das Volumen ziemlich grofse Undulationen dar; die Suggestion bewirkt indes nicht nur physische, sondern auch psychische Ruhe, indem die Undulationen beim Erwachen wegfallen. Übrigens keine Andeutung von Volumveränderungen, nur die Pulslänge nimmt beim Erwachen zu; sie ist in der Phase a-b 5.4, in der

Digitized by Google

Phase b-c 5,5, was mit der durch das Eintreten der Hypnose hervorgerufenen Verkürzung in Übereinstimmung ist. Da sich in allen meinen Kurven dasselbe Verhalten zeigt, kann man also folgendes Resultat feststellen:

Der durch Schlafsuggestion hervorgerufene hypnotische Zustand eines sonst normalen (nicht hysterischen) Individuums bewirkt nur eine Pulsverkürzung, sonst aber keine nachweisbaren Veränderungen weder des Armvolumens, noch der Pulshöhe.

Ob man nach diesem Resultate noch berechtigt ist, von der nahen Verwandtschaft der Hypnose mit dem normalen Schlaf zu reden, lasse ich dahingestellt. Sicher ist es indes, dafs sich während der Hypnose auf mehreren Sinnesgebieten eine ähnliche Steigung der Reizschwelle nachweisen läfst wie während des normalen Schlafes. In Ermangelung eines besseren Ausdrucks ist es deshalb ganz treffend, zu sagen, dafs bei dem Hypnotisierten mehrere Sinne »schlafen«. Aufserdem ist es leicht nachzuweisen, dafs der Hypnotisierte dermafsen suggestibel ist, dafs sich auf den Gebieten der »schlafenden« Sinne Halluzinationen hervorrufen lassen, sogar wenn gleichzeitig ein äufserer Reiz eintritt, der unter normalen Verhältnissen einen der suggerierten Halluzination völlig widerstreitenden Bewufstseinszustand erzeugen würde. Die körperlichen Reaktionen sind in solchem Falle ausschliefslich von dem faktischen Bewufstseinszustand, also von der Suggestion abhängig, während der äufsere Reiz, der nicht zum Bewufstsein kommt, auch keine Spuren in den körperlichen Äufserungen hinterläfst. Ein besserer Beweis, dafs die Hypnose keine Posse ist, wie einige Schriftsteller noch anzunehmen geneigt sind, ist kaum denkbar. Aufserdem erhalten wir durch derartige Versuche eine fernere Bestätigung des früher gefundenen Resultats: dafs ein Reiz sich nur, insofern er zum Bewufstsein kommt, körperliche Äufserung geben kann. Aus meinem sehr reichhaltigen Versuchsmaterial wähle ich einige einzelne Beispiele zur Beleuchtung der verschiedenen möglichen Verhältnisse zwischen der Suggestion und dem gleichzeitigen äufseren Sinnesreize.

Digitized by Google

Tab. LVII, D. $^{5}/_{10}$ 95 abends. Ly. Hypnose; bei ∧ eine Dosis 10 % haltiger schwefelsaurer Magnesia gegeben, mit der Suggestion, dafs der Geschmack ein sehr angenehmer sein würde.

In der Kurve findet sich durchaus kein Anzeichen der Unlust, indem weder das Volumen, noch die Pulshöhe, noch die Pulslänge abnimmt. Dagegen erscheint nach Verlauf von 12 Pulsschlägen eine ziemlich deutliche Volumsteigung mit zunehmender Pulshöhe. Die Suggestion scheint also trotz des widerlichen Geschmacks des Bittersalzes vollständig realisiert zu sein. Hiernach liegt auch nichts Sonderbares darin, dafs eine suggerierte angenehme Empfindung eine weit kräftigere Lustreaktion zu geben vermag, als die wirkliche Empfindung im wachen Zustande hervorbringen würde, namentlich wenn gleichzeitige äufsere Reize in entgegengesetzter Richtung von der hypnotisierten V-P ferngehalten werden. Ein Beispiel hiervon gibt:

Tab. LVIII, A. $^{29}/_{10}$ 95 abends. H. K. Bei ∧ suggerierte Schokoladekuchen; der Löffel, aus welchem die V-P dieselben zu empfangen glaubte, war völlig leer und rein.

Hier ist eine nicht geringe Volumsteigung mit stark vergröfserter Pulshöhe. Vergleicht man diese Kurve mit der Tab. XLVI, A, welche die Wirkung wirklicher Schokoladekuchen an demselben Abend auf dieselbe V-P in wachem Zustande zeigt, so sieht man, dafs die suggerierten Kuchen eine wenigstens ebenso kräftige Äufserung der Lust erzeugten. — Natürlich steht auch nicht das Geringste im Wege, dafs ein angenehmer Reiz vermöge gleichzeitiger Suggestion Unlust herbeiführt:

Tab. LVIII, B. $^{12}/_{11}$ 95 abends. H. K. Hypnose. Bei ∧ 1 Schokoladekuchen gegeben mit der Suggestion, es seien Chininpillen, die zerkaut werden müfsten. Bei ∧ 2 der Befehl, dafs der Geschmack noch schlimmer werden sollte. Nach dem Erwachen erklärte die V-P, der Geschmack sei ein äufserst unangenehmer gewesen.

In der Kurve ist die Reaktion der Unlust unverkennbar; die Volumsenkung ist freilich keine grofse, die Abnahme der Pulslänge und der Pulshöhe ist aber leicht ohne Messung zu sehen. — Die Leichtigkeit, mit welcher dergleichen Halluzinationen des Geschmacks

Digitized by Google

und Geruchs schon bei leichter Hypnose zu stande kommen, ist ganz erstaunlich. Es scheint mir keinen Zweifel erleiden zu können, dafs unter gewöhnlichen Verhältnissen gerade diese beiden Sinne bei der Hypnotisierung zuerst »einschlafen«; später werden auch allmählich, wie die Hypnose tiefer wird, die andern Sinne einschlafen. Ich erhielt z. B. Geruchs- und Geschmackssuggestionen unter Verhältnissen realisiert, wo der Tast- und der Muskelsinn noch völlig wach waren. Beispiele hiervon geben die beiden folgenden Kurven:

Tab. LVIII, C. 5/11 95 abends. H. K. Sehr leichte Hypnose. Bei ↾ ein Theelöffel voll pulverförmiger schwefelsaurer Magnesia eingegeben mit der Suggestion, es seien Schokoladekuchen.

Phase . . .	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	f-g
Anzahl . . .	22	3	12	21	3	20
Länge . . .	3,5	3,3	3,4	3,6	3,1	4,7

Dafs die Suggestion trotz der grofsen Dosis übelschmeckenden Stoffes realisiert ist, steht nicht zu bezweifeln. Anfangs zeigt die Kurve freilich eine geringe Pulsverkürzung, hervorgebracht durch die Arbeit, welche die Auflösung des Stoffes erfordert, darauf tritt aber anwachsende Pulsverlängerung ein; aufserdem ist die Pulshöhe durchweg gröfser als vor der Reizung. Am meisten Interesse hat jedoch die Äufserung, welche die V-P that, als ich sie nach dem Erwecken fragte, ob sie sich des Versuches erinnere. Ich erhielt nun folgende Antwort: »Ja, es schmeckte sehr gut, aber Schokoladekuchen waren es nicht, es war ein Pulver, das konnte ich an den Lippen merken.« Die Suggestion hat also den Geschmack halluziniert, während die Berührungsempfindungen noch so lebhaft waren, dafs die V-P hierdurch noch zum Teil zwischen Suggestion und Wirklichkeit zu unterscheiden vermochte. Will man einen Hypnotisierten halluzinieren, so mufs man also dafür Sorge tragen, die Suggestion in solcher Form zu geben, dafs ihr Mangel an Übereinstimmung mit der Wirklichkeit sich nicht durch die wachen Sinne kontrollieren läfst. Wird dies nur beobachtet, so wird die Suggestion gewifs realisiert werden. Es sei noch ein Beispiel gegeben:

Digitized by Google

Tab. LVIII, D. 15/10 95 abends. H. K. Leichte Hypnose; riecht bei ⊾ 1 an einer suggerierten Rose, die bei ⊾ 2 dem Hypnotiseur zurückgeliefert wird.

Am Anfang der Kurve erwähnte ich eine Rose, die ich zu besitzen vorgab; ich bat die V-P, sie zu nehmen und daran zu riechen. Die Suggestion wurde realisiert; die V-P nahm die völlig imaginäre Rose und begann bei ⊾ 1 daran zu riechen. Auf meine Frage erwiderte sie, der Geruch sei wundervoll; es war also sowohl der Tast-, als der Geruchssinn halluziniert. Ich fragte weiter: »Meinen Sie nicht auch, daſs es eine schöne Rose ist?« Hierauf antwortete sie lächelnd: »Meine Augen sind ja geschlossen.« Dies war unstreitbar; der Muskelsinn muſs also wohl so wach gewesen sein, daſs er mit der Gesichtshalluzination kollidierte und derselben widerstrebte. Bei einer späteren Gelegenheit wurde während einer tieferen Hypnose der nämliche Versuch wiederholt und gelang vollständig; in diesem Falle müssen also alle Sinne geschlafen haben mit Ausnahme des Gehörssinnes, mittels dessen die Suggestion empfangen wurde. Sehen wir nun von diesen merkwürdigen Fällen ab, die für das Verständnis des hypnotischen Zustands gröſsere Bedeutung haben als für unsere speziellen Untersuchungen, so können wir also folgendes Resultat feststellen:

Eine durch Suggestion während einer Hypnose hervorgerufene lust- oder unlustbetonte Empfindung ruft dieselben körperlichen Veränderungen hervor, welche die Empfindung begleiten, wenn diese unter normalen Verhältnissen durch einen adäquaten äuſseren Sinnesreiz erzeugt wird. Die körperlichen Veränderungen treten auch dann ein, wenn zugleich ein äuſserer Reiz stattfindet, der ganz andre körperliche Reaktionen bewirken würde, wenn er zum Bewuſstsein käme. Oder mit andern Worten: die organischen Reaktionen sind ausschlieſslich von dem augenblicklichen Bewuſstseinszustand abhängig und durchaus nicht von der Reizung der Sinne.

Digitized by Google

Nach diesem Resultat kann es wohl kaum zweifelhaft sein, wie sich das Verhältnis während einer suggerierten Analgesie oder Anästhesie gestalten wird. Die Versuche bestätigen denn auch vollständig unsre berechtigten Erwartungen. Es ist hierzu jedoch zu bemerken, dafs ich mich bei Suggestionen dieser Art stets darauf beschränkte, zu sagen, dafs die V-P nicht im stande sein würde, etwas zu merken. Die Anästhesie wird deswegen allerdings weniger vollständig, als wenn man einen positiven Bewufstseinszustand suggeriert, der den schmerzhaften Reiz aufserhalb des Bewufstseins zu halten vermag. Man wird in den folgenden Kurven deshalb auch in einzelnen Fällen Andeutungen von Reaktionen gewahren, welche gewifs anzeigen, dafs die V-P etwas gemerkt hat. Dieses gibt aber, namentlich wenn während des wachen Zustandes Kontrollkurven genommen werden, bessere Überzeugung, als diejenigen Reaktionen, welche man erhalten würde, wenn man einen bestimmten Bewufstseinszustand suggerierte. Dieser würde ja notwendigerweise seine bestimmten Äufserungen hervorbringen, welche die Beobachtung der gleichzeitigen Reaktionen des Schmerzes nur erschweren würden. Als Mittel zur Hervorrufung des Schmerzes wandte ich hier, wie bei den Versuchen während der Narkose, ausschliefslich kräftige Induktionsströme an, deren Stärke stets so grofs war, dafs sie unter normalen Verhältnissen heftige Bewegungen bewirkten. Ein Beispiel hiervon zeigt:

Tab. LVIII, E. 3/10 95 abends. Ly. Normal, wach. Bei ⊓ Induktionsstrom durch den linken Arm.

Wir schreiten nun zu der Untersuchung, wie die Wirkung wird, wenn Anästhesie suggeriert ist.

Tab. LIX, A. 17/10 95 abends. Ly. Tiefe Hypnose, Suggestion, dafs überhaupt nichts bemerkt werden dürfe, weder Berührung, noch Schmerz. Bei ⋋ 1 und ⊓ 2 Induktionsstrom.

Die Suggestion wurde während des in der Kurve angezeigten Aufenthalts von 20 Sek. gegeben. Ihre unmittelbare Wirkung ist eine geringe Volumsteigung und merkbare Verminderung der Pulshöhe und der Pulslänge. Da der erste, momentane Stromstofs, bei ⋋ 1, nur eine sehr geringe Veränderung der Atmung und

Digitized by Google

des Volumens herbeiführte, wurde der Versuch bei ⊓2 mit einem länger dauernden Strom wiederholt. Die Wirkung ist denn auch etwas gröfser; die Anästhesie ist deutlich genug keine vollständige; im Vergleich mit den gewaltigen Äufserungen des Schmerzes, die der Strom unter normalen Verhältnissen erzeugt haben würde, ist die Reaktion indes doch sehr abgeschwächt. 4 Min. später wurde nach dem Erwecken der V-P ein Kontrollversuch angestellt.

Tab. LIX, B. 17/10 95 abends. Ly. Aus der Hypnose geweckt; bei ⊓ Induktionsstrom durch den linken Arm.

Dieser Kontrollversuch ist nicht eben sehr überzeugend, da die Wirkung, von der unregelmäfsigen Atmung abgesehen, kaum gröfser ist als während der Hypnose. Ich hatte aber auch ganz vergessen, die suggerierte Anästhesie aufzuheben. Dies geschah dann und wann, und in allen diesen Fällen zeigten die Kontrollversuche, sogar lange nachdem die Suggestion gegeben war, ein erkennbares Fortdauern des anästhetischen Zustands. Sorgt man aber dafür, die Anästhesie aufzuheben, so wird der Unterschied sehr hervortretend; z. B. in den folgenden Versuchen:

Tab. LIX, C—E u. LX, A u. B. 29/10 95 abends. H. K. Suggerierte Anästhesie und Analgesie während der Hypnose; Kontrollversuch in wachem Zustande.

Die Hypnose war tief. Bevor die Kurve C genommen wurde, hatte ich schon angefangen, der V-P zu suggerieren, sie würde nichts merken, weder die Berührung der Elektrode, noch den durch den Strom verursachten Schmerz. Während dieser Erklärung begann die Aufzeichnung. Bei ⊓ fand der Reiz statt; die Stärke des Stromes, durch die Entfernung der Nebenspule angegeben, war 6 cm. Die Wirkung ist offenbar eine äufserst geringe. Die Suggestion wurde nun wiederholt, indem ich zugleich die bewegliche Nebenspule des Apparats 1 cm weiter über die Hauptspule schob, so dafs der Strom also verstärkt wurde. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C. Bei ⊓ wurde der Strom durch den Arm geleitet; die Atmung zeigt nicht die geringste Störung, die Volumkurve dagegen eine Veränderung, die unter normalen Verhältnissen eine geringe, unwillkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit andeuten würde.

Digitized by Google

Hierauf wurde eine neue Suggestion gegeben, indem die V-P den Befehl erhielt, die Berührung der Elektrode merken zu können, fortwährend ohne im stande zu sein, den Schmerz zu fühlen. Zum Beweis, daſs sie die Berührung merkte, sollte sie in dem Augenblick, da die Elektrode appliziert würde, »Nun« rufen (die Augen waren völlig geschlossen). Der Versuch ist in der Kurve E gezeigt; er wurde zweimal angestellt, bei ⊓1 mit dem schwächeren, bei ⊓2 mit dem stärkeren Strom (5 cm). Beidemal wurde das »Nun« im rechten Augenblick gerufen. Die Kurve zeigt fortwährend keine Spur von Äuſserungen des Schmerzes, nur, wie zu erwarten stand, Anzeichen, daſs eine schwache Empfindung zum Bewuſstsein gekommen ist. Die beiden folgenden Kurven, A u. B der Tab. LX, wurden ungefähr eine halbe Stunde später genommen, nachdem die Hypnose längst aufgehört hatte. Bei ⊓1 wurde die Wirkung des schwächeren (6 cm), bei ⊓2 die des stärkeren (5 cm) Stroms versucht. Im Vergleich mit den bedeutenden Störungen sowohl der Atmung, als des Volumens, welche diese Kurven zeigen, muſs die Wirkung während der suggerierten Anästhesie und Analgesie jedenfalls eine stark verminderte genannt werden.

Aus den genannten Versuchen mit suggerierter Analgesie läſst sich nicht schlieſsen, daſs der Schmerz etwas von der Berührungsempfindung Verschiedenes sei. Denn die Einwirkung geschah in der Weise, daſs der Strom in dem Moment, da die Elektrode die Haut berührte, geschlossen war. Die Berührung und der elektrische Reiz treffen also in demselben Augenblick ein. Hieraus folgt, daſs die bestehende Analgesie sich auf zweifache Weise erklären läſst. Nimmt man an, daſs der Schmerz ein von den Berührungsempfindungen Verschiedenes ist, so kann man sich denken, daſs die Suggestion wirklich die Empfänglichkeit für Schmerz aufgehoben hätte, während die Berührungssinne noch in Funktion wären. Nimmt man dagegen an, der Schmerz bestehe nur in starken, unlustbetonten Berührungsempfindungen, so lieſse sich denken, die Suggestion habe nur die Wirkung gehabt, daſs die Reizschwelle der Hautsinne gesteigert sei, so daſs der starke elektrische Reiz nur eine schwache Empfindung, aber keinen

Digitized by Google

Schmerz hervorriefe. Welcher der beiden Erklärungen man nun auch beistimmt, so muſs die V-P sich in den besprochenen Versuchen auf die nämliche Weise verhalten, nämlich die Berührung merken, ohne Schmerz zu fühlen. Diese Versuche können folglich nicht zur Entscheidung darüber dienen, welche der beiden Erklärungen die rechte ist.

Nun ist es allerdings nach v. Freys Untersuchungen[1] im höchsten Grade wahrscheinlich, daſs die Schmerzempfindungen von den Druck-, Wärme- und Kälteempfindungen qualitativ verschieden sind, und daſs die erstere der beiden angeführten Erklärungen eine überwältigende Wahrscheinlichkeit für sich hat. Nichtsdestoweniger würde es interessant sein, wenn man die Richtigkeit der Erklärung durch Versuche an analgetischen Individuen bestätigt finden könnte. Es scheint mir, daſs dieses auf folgende Weise thunlich wäre. Bringt man die Elektrode an der Haut an, ohne jedoch den Strom zu schlieſsen, bevor die V-P angibt, die Berührung gemerkt zu haben, so kann die Reizschwelle der Berührungsempfindungen nicht in auffälligem Maſse gesteigert sein. Und wird nun in demselben Moment, da die V-P die schwache Berührung merkt, der Strom eingeleitet, so muſs, wenn die Reaktionen des Schmerzes unterbleiben, der Schmerz offenbar etwas von den Berührungsempfindungen Verschiedenes sein. Denn es ist wohl fast für undenkbar zu halten, daſs in dem einen Augenblick völlige Empfänglichkeit für schwache Berührung, aber unmittelbar darauf Unempfänglichkeit für starke Reize derselben Sinne herrschen sollte. Nach diesem Schema stellte ich einen einzelnen Versuch an, der mir anfänglich entscheidend vorkam, bei genauerer Betrachtung der Kurve sich jedoch als nicht ganz unzweideutig erwies. Er ist wiedergegeben:

Tab. LX. C. $^{15}/_{10}$ 95 abends. H. K. Suggerierte Analgesie während der Hypnose; bei ⊓ schwache Berührung, die gemerkt wurde; gleich darauf wurde der Induktionsstrom eingeleitet.

Ungefähr bei b begann ich die Analgesie zu suggerieren mit dem Befehl, die Berührung anzugeben. Die

[1] Untersuchungen über die Sinnesfunktionen der menschlichen Haut. Leipzig 1896.

Digitized by Google

Pinselelektrode, die ich in der Hand hielt, war so eingerichtet, dafs der Strom unterbrochen wurde, solange man einen Knopf am Griffe niederdrückte. Bei ⊓ brachte ich die Elektrode an dem Arme der V-P an; ungefähr 3 Pulsschläge nachdem die Berührung angefangen hatte, sagte sie »Nun!« In demselben Augenblick hielt ich mit dem Niederdrücken des Knopfes auf, so dafs der Strom also geschlossen wurde; die Dauer des ganzen Versuchs ist durch die Ausdehnung des Zeichens angegeben. Die Kurve zeigt allerdings nur eine sehr geringe Volumsenkung, aber sowohl die Pulshöhe, als die Pulslänge ist bedeutend vermindert. Hier ist also eine unzweifelhafte Reaktion des Schmerzes; im Verhältnis zur Stärke des Stroms ist sie indes sehr gering. Da es sich nun zeigte, dafs die V-P für schwache Berührung empfänglich war, während die Empfänglichkeit für Schmerz jedenfalls stark abgeschwächt war, spricht der Versuch am meisten dafür, dafs der Schmerz etwas von den eigentlichen Berührungsempfindungen Verschiedenes ist, und dafs überdies die physiologischen Zentra dieser Zustände so weit voneinander getrennt liegen, dafs das eine aufser Funktion gesetzt sein kann, während das andere noch leistungsfähig ist.

Wir sahen oben, dafs eine Suggestion der Anästhesie Verminderung des Volumens, der Pulshöhe und der Pulslänge hervorbrachte. Im Versuche Tab. LX, C hat die Analgesie wenigstens die beiden letztgenannten Veränderungen zur Folge; die Pulslänge ist in der Phase a-b 3,9, in der Phase b-c 3,7. Hierzu ist doch zu bemerken, dafs ich gewöhnlich nur Anästhesie und Analgesie des freien, linken Arms suggerierte, an welchem die Versuche angestellt werden sollten. Es läfst sich folglich nicht entscheiden, ob die vom Plethysmogramm angezeigten Veränderungen nur sekundäre Wirkungen der Veränderungen des linken Arms, oder ob sie gleicher Art wie diese sind, so dafs die Wirkung also eine bilaterale wäre. Um dies zu untersuchen, stellte ich ein einzelnes Experiment an:

Tab. LX, D. 12/11 95 abends. H. K. Hypnose; Suggestion der Anästhesie beider Arme, angefangen bei N.

Die Suggestion bewirkt offenbar sowohl Volumsenkung, als Pulsverkürzung und Pulsverminderung.

Digitized by Google

Ungefähr am Schlusse der Kurve wurde die Anästhesie wieder aufgehoben, ohne daſs ein Eingriff geschehen wäre: hier steigt das Volumen wieder mit hohen und langsameren Pulsen. — Wir können die Resultate der besprochenen Versuche also in folgenden Satz zusammenfassen:

Die während der Hypnose suggerierte Anästhesie (und Analgesie) bewirkt eine geringe Verminderung des Armvolumens, der Pulshöhe und der Pulslänge. Solange der Zustand fortdauert, werden selbst starke, schmerzhafte Reize fast gar nicht oder nur in geringer Ausdehnung körperliche Reaktion herbeiführen. Während der Analgesie können schwache, nicht schmerzhafte Berührungen empfunden werden; starke, schmerzliche Reize aber führen nur Andeutungen von Reaktionen des Schmerzes herbei; die Schmerzempfindung ist wahrscheinlich also von der Druck-, Wärme- und Kälteempfindung qualitativ verschieden.

Ziemlich oft habe ich versucht, Wärme oder Kälte des im Plethysmographen eingeschlossenen Arms zu suggerieren, um zu erfahren, ob sich hierdurch entschieden vasomotorische Wirkungen erzielen lieſsen. Da die Versuche die V-P augenscheinlich anstrengten, wurde die Suggestion selten lange fortgesetzt, und die Wirkung war deshalb im allgemeinen nur eine geringe. Einer der besten ist wiedergegeben:

Tab. LX, E. 15/10 95 abends. H. K. Hypnose, bei N 1 Hitze im rechten Arm suggeriert; bei N 2 dies wiederholt mit dem Befehl, stärker zu empfinden; bei N 3 wurde die Empfindung fortsuggeriert.

N 1 wurde dort angebracht, wo das Wort »Hitze« kam; die Suggestion fing also in der That ein wenig vorher an. Die Wiederholung bei N 2 bewirkt offenbar eine Volumsteigung, welche verschwindet, sobald der Befehl zum Aufhalten gegeben wird.

Daſs in einem Hypnotisierten Vorstellungen entstehen können, welche nicht von dem Hypnotiseur eingegeben sind, ist eine bekannte Sache: bei einer einzelnen Gelegenheit sah ich ein sehr überzeugendes

Digitized by Google

Beispiel hiervon. Dieses ist in den folgenden Kurvenreihen wiedergegeben:

Tab. LXI, A—C. $^{22}/_{10}$ 95 abends. H. K. Hypnose mit spontan entstehender deprimierter Stimmung; verschiedene Versuche während derselben.

Die V-P war einige Zeit hindurch sich selbst überlassen worden, weil es notwendig war, zu den folgenden Versuchen einige Vorbereitungen zu treffen. Als alles bereit war, warf ich einen Blick auf den Kymographen und sah hier alle Anzeichen einer deprimierten Stimmung. Diese konnte nicht die Wirkung einer Suggestion sein, sie mufste also spontan entstanden sein, und ich dachte mir daher die Möglichkeit, dafs sie von selbst verschwinden würde, wenn wir nur in den Versuchen weiter gingen. Ich suggerierte deshalb ganz ruhig Analgesie und untersuchte den Zustand mittels des elektrischen Stroms. ⊓ 1 und ⊓ 2 der Kurve A zeigen diese Versuche. Während der folgenden Minute, deren Aufzeichnungen nicht mitgenommen sind, kam indes keine Andeutung, dafs die Depression aufhören würde. Hierauf wurde die Kurve B genommen. Hier suggerierte ich Anästhesie und untersuchte den Zustand bei ⊓ mittels des elektrischen Stroms. Während der nächsten, ebenfalls weggelassenen Minute wurde noch ferner ein Versuch angestellt, der ebensowenig auf die vorhandene Stimmung Einflufs übte. Es war daher nichts andres zu thun, als die Versuche abzubrechen; ich hätte durch eine Suggestion freilich wohl die Depression verschwinden machen können, da ich aber nicht wissen konnte, worum es sich handelte, hielt ich diesen Ausweg für nicht ratsam. Es wurde also Erwachen suggeriert und besonders nachdrücklich befohlen, die V-P dürfe beim Erwachen durchaus keine unangenehmen Folgen der Versuche spüren. Die Kurve C fängt am Schlusse dieser Weisung an; bei ⊼ kam der Befehl: »Aufwachen!« Die Kurve zeigt, dafs die körperliche Äufserung der Gemütsbewegung keineswegs gleich beim Erwachen verschwindet, obschon inbetreff der Depression und deren Ursachen völlige Amnesie vorlag. Die V-P war nicht im stande, sich irgendwie zu entsinnen, dafs ihre Gemütsstimmung eine weniger angenehme gewesen sei, obwohl sie beim Anblick der Kurven zugeben mufste,

Digitized by Google

dies sei zweifelsohne der Fall gewesen. Im Laufe der zwei folgenden Minuten, während wir von der Geschichte sprachen, verschwand der Zustand — oder vielmehr dessen körperliche Nachwirkungen — doch immer mehr; das Ende von C zeigt nach Verlauf der genannten Zeit den völlig normalen Zustand.

Während der folgenden Hypnose, 8 Tage später, fragte ich die V-P, was das vorige Mal die Ursache ihrer deprimierten Stimmung gewesen sei. Ohne sich zu bedenken, antwortete sie, es sei ihr plötzlich beigefallen, sie habe eine schwierige, schriftliche Ausarbeitung für einen der Professoren, die sie nicht fertig zu bringen vermöchte; dieser Gedanke sei ihr höchst unangenehm gewesen. Nachdem sie erweckt worden war, erhielt ich die Bestätigung, dafs ihr wirklich eine solche schriftliche Arbeit aufgegeben sei; ob die Erklärung übrigens richtig ist, kann ich natürlich nicht verbürgen, ich habe anderseits aber gar keinen Grund, ihre Richtigkeit zu bezweifeln.

Ziemlich oft rief ich in den hypnotisierten Versuchspersonen mehr komplizierte Gemütsbewegungen hervor, was durch geeignete Suggestionen bekanntlich leicht ausführbar ist. Das Verfahren war in allen Fällen dieses, dafs ich der hypnotisierten V-P eine bestimmte Situation beschrieb, in welcher sie sich befinden sollte. Diese Schilderung war vorher aufgeschrieben mit Bezeichnung der für die Stimmung entscheidenden Stichwörter. Jedesmal, wenn eins dieser Wörter genannt wurde, bezeichnete ich dies auf dem Cylinder und machte eine kleine Pause, damit die Situation Zeit erhielte, sich in der V-P zu entwickeln. Sobald die Kurve eine deutliche Reaktion zeigte, ging ich weiter. Unter diesen verschiedenen, durchweg sehr interessanten Versuchen gebe ich hier zur Beleuchtung der Sache einen einzelnen wieder. Derselbe wird genügen, um zu zeigen, wie deutlich solche suggerierten Affekte hervortreten; ich hege deshalb keinen Zweifel, dafs man Hypnotisierte mit entschiedenem Erfolg zum Studium der Affektäufserungen wird gebrauchen können, wenn man von normalen Individuen keine unzweideutigen Resultate zu erreichen vermag. Der Versuch ist wiedergegeben:

Digitized by Google

Tab. LXI, D u. E u. LXII, A u. B. 5/11 95 abends. H. K. Hypnose. Die Kurve E ist die unmittelbare Fortsetzung von D; zwischen E und A sind 5 Sek. verflossen, B ist die unmittelbare Fortsetzung von A. Folgende Suggestion wurde gegeben: »Sie sind ein kleines Mädchen, du bist 7 Jahre alt. ⊾ 1 Du sitzest im Garten und spielst mit einer Puppe, einer wunderschönen, grofsen Puppe, die du soeben erhalten hast. Es ist eine prachtvolle Puppe mit einem roten Kleid; die Puppe kann die Augen öffnen und schliefsen. Es ist schönes Sommerwetter, die Sonne scheint, die Vögel singen, du bist äufserst vergnügt ⊾ 2 über das schöne Wetter und die neue Puppe, die dich sehr erfreut, wenn sie die Augen schliefst .... Nun kommt ein grofser Hund ⊾ 3, der gerade auf dich los geht ⊾ 4. Er sieht sehr friedlich aus, und du fühlst daher keine Furcht vor ihm, sondern hältst ihm die Puppe vor, damit er sie sehen soll. Aber der Hund schnappt dir die Puppe weg ⊾ 5 und läuft damit fort. Du wirst hierüber sehr betrübt; deine schöne neue Puppe ist weg. Du weinst und rufst dem bösen Hunde nach, dafs er dir die Puppe zurückbringen soll. Er kommt aber nicht .... Da kommt ein Knabe und gibt dir die Puppe ⊾ 6, die er dem Hund abgenommen hat. Die Puppe hat gar keinen Schaden gelitten. Du wirst wieder vergnügt. ⊾ 7 ....«

Diese Kurven kommen mir in hohem Grade ausdrucksvoll vor, indem es sich erweist, dafs das Volumen sich mit dem Wechsel der Situation und dem hierdurch bedingten Umschlag des Gefühls plötzlich verändert. Da wir im Vorhergehenden dergleichen komplizierte Gemütsbewegungen nicht an normalen Individuen untersucht haben, läfst es sich natürlich nicht mit völliger Sicherheit entscheiden, ob die suggerierten Affekte hypnotisierter Personen sich ganz auf dieselbe Weise äufsern. Es zeigt sich indes, dafs die beiden Grundstimmungen, die Freude und der Kummer, in diesen Kurven mit dem übereinstimmen, was wir für primitive Lust- und Unlustzustände normaler Menschen fanden. Es dürfte deswegen wohl kaum unberechtigt sein, zu behaupten:

Während der Hypnose werden Affekte und Stimmungen, sie mögen entweder spontan

Digitized by Google

entstehen oder durch Suggestion direkt hervorgerufen werden, sich auf ähnliche Weise äufsern, wie bei normalen Individuen.

REPRODUZIERTE AFFEKTE.

Die Schwierigkeit, die stets damit verbunden ist, nur um eines Experiments willen einen normalen, ruhigen Menschen in eine bestimmte Gemütsbewegung zu bringen, hat Mentz dadurch zu vermeiden gesucht, dafs er seine Versuchspersonen einen solchen Zustand willkürlich reproduzieren liefs, indem sie sich in der Erinnerung in eine bestimmte Situation zurückversetzten, während deren sie in Affekt gewesen waren[1]. Dafs diese subjektive Methode wertvolle Resultate zu geben vermag, wage ich nicht zu bestreiten, sie erfordert aber doch gewifs eine besondere Natur der betreffenden V-P, eine gewisse Neigung, in Gemütsbewegung zu geraten. Allerdings kann jeder Mensch bei auftauchender Erinnerung an eine bestimmte Situation das Gefühl wieder erleben, das die Begebenheit auf natürliche Weise erregte. Es gibt aber doch einen nicht geringen Unterschied zwischen einer gelegentlich, gleichsam zufällig auftauchenden Erinnerung und einem willkürlich hervorgezauberten Bilde. Vielen Menschen, die nicht so leicht in Affekt geraten, wird die Anstrengung während einer solchen willkürlichen Reproduktion so grofs werden, dafs nur das Gefühl der Anstrengung, nicht aber der gewünschte Affekt das Bewufstsein beherrscht. Wo dies der Fall ist, wird gewifs nur die willkürliche Aufmerksamkeit, nicht aber die mit Anstrengung reproduzierte Gemütsbewegung in den Kurven zur Äufserung kommen; etwas andres ist jedenfalls nach allem im Vorhergehenden Gefundenen nicht zu erwarten. Die Richtigkeit hiervon habe ich denn auch häufig bestätigt gefunden. Sehr oft habe ich es versucht, meine Versuchspersonen Affekte willkürlich reproduzieren zu lassen, selten erblickte ich aber eine andre Wirkung,

[1] **Mentz**: Die Wirkung akustischer Sinnesreize. S. 384 u. f.

als einen geschwinderen Puls, der unstreitig eine Äufserung des Affekts sein kann, sich aber ebensowohl als Anzeichen der Anstrengung erklären läfst. Ich werde mich deswegen nicht auf diese Versuche einlassen, die wohl als mifslungen zu betrachten sind.

Nur eine einzelne, unter besonderen Verhältnissen angestellte Reihe von Versuchen verdient nähere Besprechung. Eine meiner Versuchspersonen, die sich neben ihrer Stellung als Schauspieler am kgl. Theater mit der Psychologie beschäftigte, wünschte sehr angelegentlich eine experimentelle Untersuchung des bekannten Diderotschen Paradoxons[1] angestellt zu sehen. Es schien ihm, wie wohl den meisten, höchst unwahrscheinlich, dafs ein Schauspieler wirklich kalt und von den Gefühlen, die er darzustellen sucht, unberührt dastehen sollte; nicht einmal die Autorität eines Coquelin vermag ein solches Resultat festzustellen, das alle psychologische Wahrscheinlichkeit wider sich hat. Es wurde also beschlossen, die Sache einer experimentellen Untersuchung zu unterwerfen, und folgendes Verfahren wurde hierbei angewandt. Die betreffende V-P wählte in verschiedenen Dichterwerken einzelne Strophen aus, welche ganz bestimmte Stimmungen oder einen Umschlag der Stimmung: wehmütige und jauchzende Freude, Erbitterung, Täuschung u. s. w., ausdrückten. Diese Strophen lernte sie auswendig; die Anfangszeile wurde auf ein Stück Papier notiert mit Hinzufügung derjenigen Stimmung, welche in der Strophe Ausdruck erhielt. Dieses Papier bekam ich. Das Verfahren war nun einfach dies, dafs die V-P in den Apparaten angebracht wurde und darauf in Gedanken, ohne lautbare Worte und ohne Mimik, diejenige Strophe recitierte, welche ich unter den aufgegebenen wählte. Hierdurch war offenbar jede Möglichkeit einer vorhergehenden Einstellung auf ein bestimmtes Gefühl ausgeschlossen.

Mit Bezug auf die Folgerungen, die sich aus dem Experimente ziehen lassen, mufs ich jedoch vorher einige Bemerkungen machen. Erstens lassen sich aus einer einzelnen Versuchsreihe an einem einzelnen bestimmten

[1] Vgl. Binet: Le paradoxe de Diderot. L'année psychologique III. Paris 1897. S. 279 u. f.

Schauspieler wohl keine gemeingültigen Schlüsse ziehen. Ein Blick auf Tab. LXII, C u. D, LXIII und LXIV, wo die Versuche wiedergegeben sind, wird zeigen, daſs die erregten Gefühle auſserordentlich starken Ausschlag gegeben haben. Es ist also sicher, daſs sich auf dem hier befolgten Wege starke Gefühle reproduzieren lassen, und ich halte es denn auch für höchst wahrscheinlich, daſs Schauspieler im allgemeinen von denjenigen Gefühlen beseelt sein werden, welche sie darzustellen suchen. Ausnahmen schlieſst dies natürlich nicht aus, namentlich in solchen Fällen nicht, wo eine Rolle so häufig gespielt worden ist, daſs Mimik, Gesten u. s. w., weil sie eingeübt sind, sich fast automatisch wiedergeben lassen. Ebenso wie ein routinierter Taschenspieler thatsächlich die verwickeltsten Kunststückchen auszuführen vermag, während er an ganz andre Dinge denkt, ebenso mag wohl auch der Schauspieler es erreichen, daſs er von dem, was er darstellt, unberührt dasteht. Ein andres ist die Frage, ob er dann auch wirklich gute Kunst leistet.

Zweitens findet sich bei den hier vorliegenden Versuchen ein kleiner Umstand, dessen Bedeutung für den Augenblick kaum richtig geschätzt werden kann. Es ist zu bedenken, daſs die V-P in den Apparaten ganz ruhig sitzen muſste, ohne ihre Gefühle durch Mimik oder Pantomimen auszudrücken. Welchen Einfluſs eine derartige Hemmung natürlicher Bewegungstendenzen hat, das wissen wir nicht. Möglich ist es freilich, daſs die organischen Veränderungen dadurch verstärkt wurden, weil jedes Gefühl »Luft haben« muſs und folglich, wenn die Bewegungen der willkürlichen Muskeln gehemmt werden, auf die organischen Funktionen kräftiger einwirken kann. Eine ausgemachte Sache ist dies natürlich aber nicht. Sicher ist es indes, daſs keine Hemmung bestimmter willkürlicher Bewegungen im stande sein wird, diejenigen Gefühle zu erzeugen, deren normale Äuſserungen die Bewegungen sind. Sehen wir also bestimmte organische Veränderungen zum Vorschein kommen, so muſs, wie wir wissen, das Gefühl auch wirklich vorhanden gewesen sein, und die erzwungene Hemmung der äuſseren Bewegungen kann dann höchstens als Ursache einer Störung gewirkt haben. Mit

Digitized by Google

andern Worten: die vorliegenden Kurven beweisen, dafs die V-P von gewissen Gefühlen beherrscht gewesen ist, ohne dafs es sich übrigens entscheiden läfst, ob die besonders kräftigen Äufserungen dieser Gefühle trotz oder zum Teil wegen der Hemmung der willkürlichen Bewegungen zu stande gekommen sind.

Schliefslich sei noch bemerkt, dafs das Interesse der V-P für diese Versuche die Folge hatte, sie in hohem Grade »nervös« zu machen, bevor wir anfingen. Die Aufnahme einer Normalkurve war sehr schwierig; das Volumen schwankte fortwährend auf und ab. Aus diesem Grunde wartete ich lange mit dem Anfang der Versuche, was das Übel natürlich nur verschlimmerte; ich sah mich deshalb genötigt, anzufangen, bevor vollständige Ruhe eingetreten war. Im Anfang der Tab. LXII, C ist diese Unruhe noch zu sehen. Hier finden sich mitten in ein paar Pulsschlägen einige jähe Senkungen. In den folgenden Kurven treffen wir solche dann und wann wieder an; diese rühren davon her, dafs das Volumen so stark steigt, dafs das Müllersche Ventil funktioniert und eine Luftblase entweichen läfst; hierdurch wird das Volumen plötzlich zum Sinken gebracht. Solange dergleichen Senkungen in einer Kurve vorkommen, findet also thatsächlich ein fortgesetztes Steigen des Volumens statt. — Ich schreite nun zur Beschreibung der einzelnen Versuche, woran ich keine andren Kommentare knüpfen werde als diejenigen, welche die V-P selbst mit Bezug auf die Stimmung und auf das Tempo der Recitation gab.

Tab. LXII, C u. D. 15/12 96 nachm. J. N. Bei N beginnt die 5. Strophe aus Plougs »Ich glaub' an dich«, die bis zum Schlusse von D, der unmittelbaren Fortsetzung von C, dauerte; die Stimmung ist ruhige Freude.

Ich glaub' an dich, wenn unsrer Lippen Küssen
Beschliefst der trunknen Seelen Ehebund;
Wenn deine Augen unter Thränen süfsen
Verkünden laut, was nie dein Mund that kund,
Wenn deine Träume dir zur Wahrheit werden,
Wenn du umfahest, was dir lieb mag sein,
Wenn doppelt reich und schön dir deucht's auf Erden,
Und doppelt leicht des Lebens Müh' und Pein.

Digitized by Google

Pause, während welcher die für den Ernst der nächsten Strophe geeignete Stimmung sich emporarbeitet.

Ich glaub' an dich, wenn mir des Todes Stimme . . . .

Tab. LXIII, A u. B. $^{15}/_{12}$ 96 nachm. J. N. Bei ⋋ 1 beginnt untenstehende Strophe aus J. P. Jakobsens »Gurreliedern«, abgeschlossen bei ⋋ 2. Erbitterung.

Weifst, o Herr, du, was du thatest,
Als du nahmst mir Tove fort?
Weifst du, dafs du mich verjagtest
Aus dem letzten Zufluchtsort?
Herr! errötest du nicht vor Scham —
Sie war des Armen einziges Lamm.

Herr, o Herr! die Engelscharen
Füllen dir das Ohr mit Preis,
Keinen Freund hast du, der tadelt,
Wenn er Tadel an dir weifs.
Niemand, o Herr! ist immer klar,
Lafs, o Herr! mich sein dein Narr.

Nach der nächstletzten Zeile der ersten Strophe wird das beschleunigte Tempo durch eine Pause unterbrochen, worauf die letzte Zeile in einem etwas langsameren Tempo folgt, das nach dem Schlusse der Strophe fast unmittelbar in die stürmische Eile der Erbitterung der nächsten Strophe übergeht.

Tab. LXIII, C u. LXIV, A. $^{15}/_{12}$ 96 nachm. J. N. Bei ⋋ 1 beginnt die 5. Strophe des Gedichtes »Senk' dich in meine Brust« aus Blaumüllers »Saul«, die bei ⋋ 2 aufhört. LXIV, A ist die unmittelbare Fortsetzung von LXIII, C. Dumpfe Resignation.

Schlaf' nun, mein Herz,
Im Busen du liegst mir so wund;
Trugest du Schmerz,
Der nie einem andern ward kund.
Vergifs deine Pein,
Frieden hat ruhend' Gebein —
Nur das Leben ist Leides Grund.
Also Sterben, Saul, immer Sterben.

Nach der drittletzten Zeile eine kurze Pause, die einen im Folgenden verhallenden Seufzer einleitet.

Tab. LXIV, B u. C. $^{15}/_{12}$ 96 nachm. J. N. Bei ⋋ 1 beginnt Bergsöes »Die Birke«, die bis Ende von C andauert. Bei ⋋ 2 wurde der Versuch durch eine Dreh-

Digitized by Google

orgel gestört, die zu spielen anfing. Die Stimmung ist jauchzende Freude bis — —, wo sie plötzlich in Täuschung umschlägt.

Unterm Birkenbaum
Sah ich dich im Traum —
Zart und schlank wie einer Birke Ast —
Locken weich und lang
Streiften mir die Wang',
Um den Leib hielt dich mein Arm umfafst.
Mondes Lichtergufs
Schwand, und einen Kufs
Raubt' ich eilig dir im dunklen Hain.
Jedes Birkenreis
Bebt' im Nachtwind leis — —
Beim Erwachen sah ich mich allein — —
Glaubst du nicht mit mir,
Dafs bei Nachte wir
Den entschwundnen Traum wohl fänden balde?
Mit des Abends Hauch
Kommt der Mondschein auch,
Und — der Birken gibt's genug im Walde.

Die Zeile zwischen — — hat ein langsameres Tempo, dem Wechsel der Stimmung aus Freude in Täuschung entsprechend.

Ich werde mich hier nicht näher auf eine Untersuchung der komplizierten Gemütsbewegungen einlassen, die sich in den wiedergegebenen Kurven äufsern; eine solche Untersuchung wird nur dann ein Resultat ergeben können, wenn ein bedeutend gröfseres Material vorliegt, als das mir zur Verfügung stehende. Den Beweis zu führen, dafs es wirklich verschiedenartige Gefühle sind, die in den vorliegenden Kurven zum Ausdruck kommen, dürfte wohl kaum notwendig sein. Es genügt gewifs ein einziger Blick, um zu zeigen, dafs die Kurven ebenso verschiedenartig sind wie die in den benutzten Strophen ausgedrückten Gefühle. Ein redender Beweis läfst sich indes mit Hilfe der letzten Kurve, LXIV, B u. C, führen, wo ein plötzlicher Umschlag der Stimmung eintritt. An welchem Punkte der Kurve dies geschieht, das wissen wir nicht, er läfst sich aber mit grofser Annäherung bestimmen. Wäre das Gedicht in völlig gleichförmigem Tempo recitiert worden, so würde jede Silbe gleich lange Zeit erfordern. Das Gedicht enthält 116 Silben, der Wechsel der Stimmung

Digitized by Google

findet nach den ersten 67 Silben statt. Wird also die ganze verbrauchte Zeit in zwei Teile geteilt, die sich ungefähr wie 7 zu 5 verhalten, so mufs man ziemlich zu dem Punkte der Kurve kommen, der dem betreffenden subjektiven Moment entspricht. Dieser Punkt findet sich im Anfang des vierten Atemzugs in der Kurve C. Gerade hier beginnt auch eine starke Verminderung der Pulshöhe und eine neue, plötzliche Senkung des Volumens, welches unmittelbar vorher das starke Steigen nebst den hohen Pulsen der jauchzenden Freude gezeigt hat.

Es kann hiernach wohl keinem Zweifel unterworfen sein, dafs man mit Hilfe von Schauspielern oder von andern Personen, die sich leicht in Stimmung zu setzen vermögen, im stande sein wird, im Labyrinthe der Gemütsbewegungen verhältnismäfsig sicher vorzuschreiten.

PRAKTISCHE UND THEORETISCHE KONSEQUENZEN DER VERSUCHE.

Werfen wir nun, nachdem wir alle vorliegenden Versuche durchgegangen haben, den Blick zurück, so fällt wohl vor allen Dingen die wichtige praktische Bedeutung der ganzen Arbeit in die Augen: dafs es möglich ist, aus der Volumkurve den Bewufstseinszustand der V-P zu diagnostizieren. Wir sahen, wie der normale Schlaf, der wache Zustand und die Hypnose sich voneinander unterscheiden; wir fanden die körperlichen Reaktionen der verschiedenen Aufmerksamkeitszustände, der primitiven Lust- und Unlustgefühle und einzelner häufig vorkommender Gemütsbewegungen. Und nicht nur wiesen wir die körperlichen Äufserungen jedes dieser Zustände für sich nach, sondern auch, wie sie sich bei ihrem gleichzeitigen Auftreten im Bewufstsein äufsern. So wie dies alles sich mir während der Versuche gestaltete, ist es mir selbst nach und nach von grofsem Nutzen geworden. Jeder, der sich je mit dergleichen Experimenten abgegeben hat, wird leicht verstehen, von welcher Bedeutung es ist, dafs man nach

Digitized by Google

der aufgenommenen Normalkurve, ohne dafs ein Wort geredet wäre, beurteilen kann, ob die betreffende V-P sich in normalem Gleichgewicht des Gemüts befindet und zum Gegenstand der beabsichtigten Versuche eignet. Ich bezweifle deshalb auch gar nicht, dafs meine Arbeit, selbst wenn sie keine andre Bedeutung erhalten sollte, denjenigen Forschern, welche künftig unsre Kenntnis von den körperlichen Äufserungen der mehr zusammengesetzten Gemütszustände zu erweitern suchen, in diagnostischer Beziehung eine wertvolle Stütze darbieten wird.

Liegt nun eigentlich etwas Sonderbares darin, dafs man auf diese Weise aus einer einzelnen Volumkurve auf den vorhandenen Gemütszustand zu schliefsen vermag? Meines Erachtens nicht Im täglichen Leben können wir ja alle an den Gesichtern unsrer Umgebungen nicht allein die dauerhafte Stimmung, sondern auch sogar das flüchtige Gefühl, das sie nur augenblicklich beherrscht, ablesen. Deshalb scheint es mir auch höchst natürlich, dafs die Volumkurve, die gleichsam ein Resümee der Veränderungen der wichtigsten vegetativen Funktionen gibt, noch weit mehr ausdrucksvoll ist und uns mit viel gröfserer Sicherheit Schlüsse über den seelischen Zustand zu ziehen erlaubt. Wundts entschiedene Äufserung: »dafs man zwar, wenn ein bestimmtes Gefühl in der psychologischen Beobachtung gegeben ist, aus den vorhandenen Symptomen auf bestimmte Innervationswirkungen, dafs man aber niemals umgekehrt aus den physiologischen Symptomen auf das Vorhandensein bestimmter Gefühle schliefsen kann«[1], scheint mir deswegen ein wenig übereilt. Wahrscheinlich hat Wundt sich hier zunächst auf die von Mentz aufgenommenen Sphygmogramme gestützt; unter allen Kurven ist aber das Sphygmogramm, das nur die Geschwindigkeit des Herzschlages zeigt, sicherlich eine der am wenigsten ausdrucksvollen. Man braucht nur die in den hier vorliegenden Tafeln wiedergegebenen Sphygmogramme durchzugehen, um zu sehen, wie wenig sie eigentlich sogar bei den gröfsten und bedeutendsten Variationen des Plethysmogramms anzeigen. Es ist des-

[1] Grundrifs der Psychologie. Leipzig 1896. S. 103.

Digitized by Google

halb recht natürlich, dafs Wundt mit einem solchen Materiale vor Augen den citierten Satz schreiben konnte. Diese Behauptung wird allerdings von Shields gestützt, der selbst Versuche angestellt hat, und der, trotzdem ihm zahlreiche Plethysmogramme zu Gebote standen, dennoch in den körperlichen Reaktionen der einzelnen Zustände keine gesetzmäfsige Verschiedenheit zu finden vermochte. Der Grund hiervon wurde schon früher besprochen, und überdies — weil diese Verschiedenheit wegen oberflächlichen Arbeitens oder unzweckmäfsiger Apparate nicht nachgewiesen wurde — ist darum doch nicht dargelegt, dafs sie nicht existiert. Wer unter erforderlicher Berücksichtigung meiner kritischen Bemerkungen das Werk wieder aufnimmt, der wird gewifs einst die Richtigkeit meiner Beobachtungen bestätigen.

Kehren wir uns nun den mehr theoretischen Konsequenzen zu, die sich aus den vorliegenden Tafeln herleiten lassen, so leisten diese wohl besonders einen Beitrag zur Theorie der Gefühle. Es liegt selbstverständlich ganz aufserhalb des Planes meines Werkes, eine erschöpfende Darstellung der augenblicklichen Lage dieses verwickelten Problems zu geben. In den allerjüngsten Jahren sind eine solche Menge gröfserer und kleinerer Werke über die Gefühle erschienen, dafs derjenige, welcher es dereinst unternehmen wird, das Wertvolle und Haltbare unter der grofsen Masse streitiger Anschauungen zusammenzustellen, eine keineswegs ergötzliche Aufgabe erhält. Aufser den bereits genannten rein experimentalen Werken liegen erstens die gröfseren Werke über das Gefühlsleben von Ziegler[1], Sergi[2], Marshall[3], Ribot[4] und Rehmke[5] vor und ferner eine Reihe kleinerer, kritischer Aufsätze, die zugleich einen Überblick über die Stellung der verschiedenen Verfasser zu den Problemen geben. Es erscheinen verschiedene neue Gesichtspunkte in diesen Abhandlungen

---

[1] Das Gefühl. Stuttgart 1893.
[2] Dolore e piacere. Milano 1894.
[3] Pain, pleasure and aesthetics. London 1894.
[4] La psychologie des sentiments. Paris 1896.
[5] Zur Lehre vom Gemüt. Berlin 1898.

Digitized by Google

von Lipps[1], Nichols[2], James[3], Dewey[4] und Irons[5], um nur die bedeutenderen zu nennen. Endlich schliefst sich hieran, gleichsam um die Sammlung vollständig zu machen, so dafs kein Standpunkt fehlt, eine spekulativ-philosophische Arbeit von Petrini[6]. Es kommt in

[1] Göttingische gelehrte Anzeigen. 1894 Nr. 2.

[2] The origins of pleasure and pain. Phil. Review. I, 1892.

[3] The physical basis of emotion. Psychol. Review. I, 1894.

[4] The theory of emotion. Psychol. Review. I, 1894 and II, 1895.

[5] The nature ef emotion. Phil. Review. VI, 1897.

[6] Lehmanns teori om känslans förhallande till förnimmelsen. Upsala 1897. Über dieses Werk sei es mir hier gestattet, ein paar Worte zu sagen, da es, nominell allenfalls, an mich adressiert ist, obschon es ebensowohl gegen jeden beliebigen andern mir bekannten Psychologen, der sich über das genannte Verhältnis geäufsert hat, gerichtet sein könnte. Durch eine Reihe logischer Spitzfindigkeiten und subtiler Distinktionen hindurch, die weit über meinen naturwissenschaftlichen Verstand gehen, gelangt der Verfasser schliefslich zu dem sonderbaren Ergebnis: »dafs diese (Lehmanns) Theorie weder von ihm durch Thatsachen erhärtet ist, noch sich von unserm Denken festhalten läfst«. Hätte mein geehrter Kritiker sich darauf eingelassen, den Nachweis zu führen, dafs die Theorie unhaltbar sei, weil sie bestimmten Thatsachen widerstreite, so würde ich ihm gern recht gegeben haben, denn vor Thatsachen hege ich einen nicht geringen Respekt. Dies thut er aber nicht; der Thatsachen sind in seinem Buche überhaupt nicht viele zu finden. Das Verfahren ist durchweg dieses, dafs erst meine Worte auf denkbar absurdeste Weise erklärt werden, worauf der Verf. mit grofsem kritischen Scharfsinn zeigt, dies könne doch unmöglich meine Meinung gewesen sein. Darauf stellt er dann als rechte Erklärung eben die Meinung fest, die jeder vernünftige Mensch sogleich den Worten beigelegt haben würde, und deren nähere Präzisierung ich für überflüssig hielt, da mein Werk doch nicht als Kinderbuch dienen sollte, sondern für erwachsene Personen mit ein wenig gesundem Sinne geschrieben ist. Unglücklicherweise geht es dem Verf. gerade an dem entscheidenden Punkte schief, wo er das Verhältnis zwischen Empfindung und Gefühlston erklären soll. Hier bleibt er in seinen eignen subtilen Erklärungen stecken und dringt gar nicht bis zu meiner ganz schlichten und einfachen Auffassung vor. Aus diesem Grunde »läfst sich die Theorie nicht von unserm Denken festhalten«, denn es ist dem Verf. gelungen, durch seine wunderbaren Distinktionen seine eignen Begriffe darüber, was ich eigentlich gemeint habe, in völlige Verwirrung zu bringen. Da es ihm indes nicht gelungen ist, auch mich in Verwirrung zu bringen, so glaube ich vorläufig behaupten zu müssen: dafs ein Gefühl ein zusammengesetzter Zustand ist, nämlich der an einen bestimmten Vorstellungsinhalt geknüpfte Zustand der Lust oder der Unlust. Das Verhältnis der beiden Momente, der Gefühlsbetonung und des Vorstellungsinhalts, zu einander ist dieses, dafs sie erstens gleichzeitig im Bewufstsein gegeben sind,

Digitized by Google

diesen Schriften natürlich vieles und manches zur Behandlung; als das Zentrum, um welches sie alle kreisen, kann aber wohl die James-Langesche Theorie betrachtet werden, die unstreitig das Verdienst besitzt, zu allen neueren Untersuchungen auf dem Gebiete des Gefühlslebens den Anstofs gegeben zu haben. Dieser Theorie gegenüber nehmen alle Verfasser ihre Stellung, und so viel ich zu sehen vermag, ist sie es denn auch, deren Erhellung durch meine experimentellen Untersuchungen einen nicht unwesentlichen Beitrag erhält.

In derjenigen Gestalt, welche James zuerst und Lange von ihm unabhängig der Theorie gegeben haben, sagt sie: Jedes Gefühl ist eine Summe von Organempfindungen, die durch diejenigen Veränderungen des Organismus hervorgerufen werden, welche die Ursache des Gefühls herbeiführt. Hiergegen brachte ich sogleich zur Geltung, dafs das Gefühl der Lust und der Unlust keine Summe von Organempfindungen sein könnte, weil die mit jeder einfachen Sinnesempfindung verknüpfte Gefühlsbetonung zugleich mit der Empfindung im Bewufstsein gegeben sei. Bestünde die Gefühlsbetonung wirklich aus Organempfindungen, so müfste sie später als die Sinnesempfindung kommen, da einige Zeit verlaufen müsse, bis die Veränderungen des Organismus zu stande kommen könnten, und bis diese Veränderungen sich ferner im Bewufstsein kundgäben[1]. Lust

---

und dafs zweitens der Vorstellungsinhalt unserm Bewufstsein als Ursache der Lust oder Unlust dasteht; jedes Gefühl ist Lust oder Unlust an etwas.

Wie diese Auffassung eine undenkbare Theorie genannt werden kann, ist mir ein vollständiges Rätsel. Meines Erachtens ist der Satz einfach die Beschreibung einer Thatsache, ein sprachlicher Ausdruck dessen, was uns die Selbstbeobachtung zeigt. Das einzige Hypothetische des Satzes liegt in der Behauptung, dafs bei jedem Gefühle stets ein Vorstellungsmoment mitbeteiligt ist, selbst in solchen Fällen, wo dieses Moment nicht speziell hervortritt. Hätte Dr. P. sich gegen diesen zweifelhaften Punkt gewandt, so wäre die Sache verständlich, denn dies ist, wie gesagt, ein bestrittener Punkt. Er findet aber die Darstellung des Verhältnisses zwischen dem Gefühlston und dem Vorstellungsinhalt im allgemeinen undenkbar. — Soweit ich verstehen kann, hat mein verehrter Kollega seinen logischen Pegasus noch nicht recht reiten gelernt; dieser hat den Zaum zwischen die Zähne genommen und ist mit ihm durchgegangen.

[1] Hauptgesetze. S. 124—126.

und Unlust sollten meiner Auffassung zufolge ebenso primitive und unauflösbare Bewufstseinszustände sein als die Empfindungen. Die James-Langesche Theorie enthalte indes das Richtige, dafs sie die körperlichen Veränderungen als etwas den Gefühlen und besonders den Affekten Wesentliches betrachte, welche letzteren die körperlichen Veränderungen stärker und hervortretender erscheinen liefsen. Was man ein Gefühl oder einen Affekt nenne, bestehe nicht nur in einer primären, betonten Empfindung oder Vorstellung, sondern zugleich in einer Reihe betonter Organempfindungen, hervorgerufen durch diejenigen Veränderungen des Organismus, welche das primäre Gefühl veranlasse.

Dieser Auffassung ist James später beigetreten, indem er sogar erklärt, er habe nie anders gemeint. Er sagt: »Dr. Lehmann enters into an elaborate argument to prove, that primary feeling, as a possible accompaniment of any sensation whatever, must be admitted to exist. Such objections are a complete ignoratio elenchi, addressed to some imaginary theory, with which my own, as I myself understand it, has nothing whatever to do, all that I have ever maintained being the dependence on incoming currents of the emotional seizure or affect[1].« Dafs ich jedoch nicht der einzige bin, der James mifsverstanden und dessen Auffassung mit derjenigen Langes identifiziert hat, davon liegen hinlänglich viele Zeugnisse in der Litteratur vor. Da Langes Theorie indes keineswegs aufgegeben ist, sondern eifrige Fürsprecher gefunden hat, z. B. sowohl an Ribot, als an Sergi und Dewey, müssen wir also untersuchen, ob sie sich den neuen, durch die vorliegenden Versuche beschafften Thatsachen gegenüber behaupten kann. Es gilt also, zu entscheiden, welche der beiden Theorien recht hat, die Langesche oder die meinige, welche letztere ich mir unter Berücksichtigung der oben citierten Worte von James die James-Lehmannsche zu nennen erlauben werde.

Der Ansicht entgegen, dafs die an jede einfache Sinnesempfindung geknüpfte Gefühlsbetonung der Lust oder Unlust eine Summe von Organempfindungen sein

---

[1] The physical basis of emotion. Psychol. Rev. Vol. I. S. 524, Anm.

sollte, steht noch fortwährend die Thatsache, dafs die Gefühlsbetonung mit der Sinnesempfindung zugleich entsteht, während die körperlichen Veränderungen erst später zu stande kommen. Schon in den »Hauptgesetzen« machte ich darauf aufmerksam, dafs dies aus den dort wiedergegebenen Kurven hervorging; seitdem hat Binet es durch eine Reihe von Versuchen ferner konstatiert[1]. Meine hier vorliegenden Tafeln enthalten zahlreiche Kurven, die dies aufser allen Zweifel stellen. Die Tafeln XVIII und XIX zeigen an mehreren Orten, dafs das durch Erschrecken verursachte Zusammenfahren mehrere Sekunden früher eintritt, als das Sinken des Volumens anfängt. Mit dem Zusammenfahren des Körpers ist aber die ganze Unlust da; sie kann folglich keine Wirkung der vasomotorischen Veränderungen sein, die erst weit hinterher kommen. Tab. XXXI, B u. C zeigt zwei Versuche, wo der Augenblick markiert ist, in welchem das Unbehagen an einer Dosis Chinin eintrat; dieser Zeitpunkt fällt auch geraume Zeit vor Anfang der Volumveränderung. Endlich sind in Tab. XLIII, C die Zeitpunkte eines Wärmereizes, des Eintretens und des Aufhörens des Schmerzes markiert. Man sieht hier, dafs die bedeutendsten Veränderungen, sowohl des Volumens, als des Pulses, nach dem Aufhören des Schmerzes stattfinden. Hiermit scheint die Sache eigentlich ihre Entscheidung gefunden zu haben. Will man dennoch darauf bestehen, dafs die Gefühlsbetonung aus Organempfindungen gebildet werde, so steht wohl kein andrer Ausweg offen als der von Dewey eingeschlagene.

Dewey scheint anzunehmen, der Gefühlston bestehe aus Erinnerungsbildern der körperlichen Störungen, welche frühere Empfindungen derselben Art im Organismus erzeugt hätten[2]. Diese Störungen seien so häufig wiederholt worden, dafs sie erblich und angewöhnt geworden seien; die Erinnerungsbilder der ausgelösten Organempfindungen meldeten sich deshalb im Bewufstsein gleichzeitig mit der Sinnesempfindung und bildeten deren Gefühlston. Zwei sehr wesentliche Einwürfe lassen sich jedoch wider diese Erklärung erheben. Erstens

[1] Circulation capillaire etc. L'année psychologique. 1895. S. 142 u. f.
[2] The theory of motion. Psychol. Rev. II. 1895. S. 31 u. f.

wird eine bestimmte Empfindung keineswegs stets von demselben Gefühlston begleitet; jedenfalls genügt eine geringe Veränderung des Gesamtzustandes des Individuums, um eine und dieselbe Empfindung je den Umständen gemäfs als lust- oder als unlustbetont auftreten zu lassen. Der Geruch einer würzigen Speise ist dem Hungrigen sehr angenehm, während eines, wenn auch nur leichten Anfalls der Seekrankheit dagegen höchst unangenehm. Eben diese Verschiedenheiten der Gefühlsbetonung können doch nicht gleichfalls Erinnerungsbilder erblicher und angewöhnter Organempfindungen sein, denn wo kommt dann die Unlust her, wenn jemand zum erstenmal in seinem Leben seekrank ist und würzige Speise riecht? — Zweitens: räumt man den Störungen, welche frühere Empfindungen bestimmter Art im Organismus hervorgerufen haben, entscheidende Bedeutung für die Gefühlsbetonung der Empfindung ein, so müssen die organischen Veränderungen, die thatsächlich entstehen, wenn man die Empfindung aufs neue erhält, doch auch etwas zu sagen haben. Soviel ich zu sehen vermag, führt die Theorie zu der sonderbaren Konsequenz, dafs jede Empfindung zwei Gefühlstöne hat: einen, der aus Erinnerungsbildern der organischen Störungen früherer Zeiten gebildet wird und zugleich mit der Empfindung entsteht, und einen andern, der von den im Augenblicke eingetretenen Störungen herrührt und deshalb etwas später als ersterer kommt. Selbst wenn Nr. 2 nun ganz derselben Art wäre wie Nr. 1, müfste er jedenfalls Nr. 1 verstärken; die Selbstbeobachtung gibt jedoch nicht die geringste Andeutung davon, dafs der Gefühlston einer Empfindung einige Sekunden nach dem Entstehen der Empfindung an Stärke wächst. Deweys Theorie scheint mir deshalb ein mehr wohlgemeinter, als wohlgelungener Versuch, Langes Auffassung durchzuführen.

Dafs Langes Theorie nicht richtig ist, geht denn auch aus der Thatsache hervor, die uns unter den verschiedenartigsten Umständen bei allen unsern Versuchen aufgestofsen ist, dafs nämlich nicht die Art und die Stärke des Reizes die körperlichen Reaktionen bestimmen, sondern im Gegenteil derjenige Bewufstseinszustand (das Gefühl), welchen der Reiz veranlafst. Ist

man gegen Reize bestimmter Art abgestumpft, so dafs nur ein schwaches Gefühl entsteht, dann wird auch die körperliche Reaktion nur eine geringe (vgl. Tab. XXXIII, D). Ist das Bewufstsein völlig von einem bestimmten Inhalt in Anspruch genommen, so bewirkt ein äufserer Reiz keine Empfindung, mithin auch keine körperliche Reaktion (Tab. LIII, B—D). Und wir sahen ja, dafs es während der Hypnose gar nicht der Reiz, sondern die gleichzeitige Suggestion ist, wodurch die Reaktion bestimmt wird. Wie soll man dies nach Langes Theorie eigentlich erklären können? Soll das Gefühl aus Empfindungen der körperlichen Störungen bestehen, so mufs man annehmen, dafs der Reiz direkt auf die niederen Gehirnzentren einwirkt und von hier aus die verschiedenen organischen Veränderungen auslöst, die als Gefühlsbetonung zum Bewufstsein kommen. Konsequent wird dies auch von Sergi behauptet, der sich Lange ohne Vorbehalt angeschlossen hat und in den Reflexzentren der Medulla oblongata den Ausgangspunkt alles Gefühls erblickt[1]. Will man nun demgemäfs die obengenannten Thatsachen erklären, so mufs man also annehmen, dafs der Einflufs der Bewufstseinszentren auf die Reflexzentren der Medulla oblongata ein weit gröfserer ist als derjenige, welchen ein äufserer Reiz hervorzubringen vermag. Findet sich z. B. in dem Bewufstsein des Hypnotisierten die Vorstellung von Schokolade, so wirkt diese Vorstellung weit kräftiger auf das verlängerte Mark als die gleichzeitig zerkaute wirkliche Chininpille. Oder ist jemand mit einer Rechenaufgabe beschäftigt, so kann dieser Bewufstseinszustand auf die Reflexzentren so kräftig wirken, dafs gleichzeitige starke Kälte gar nicht auf dieselben zu influieren vermag. Gelingt es unter solchen Umständen dem Reiz aber nur einen Augenblick, zum Bewufstsein vorzudringen, so zeigen die Versuche, dafs dieser Reiz dann auch seinen Einflufs auf die Reflexzentren geltend zu machen und eine körperliche Reaktion hervorzurufen vermag, die dem durch ihn verursachten Bewufstseinszustand entspricht. Was wird aber bei all diesem aus dem postulierten direkten Einflufs des Reizes auf das

[1] Dolore e piacere. Milano 1894.

Digitized by Google

verlängerte Mark? Um mit der Erfahrung in Übereinstimmung zu kommen, hat man zugeben müssen, dafs das Bewufstsein die Reflexzentren sozusagen zu blockieren vermag, so dafs kein Reiz im stande ist, die Blockade zu sprengen. Und gelingt es einem Sinnesreize, ein einzelnes Mal hindurchzudringen, so geschieht dies nicht direkt, sondern nur auf dem Umwege durch das Bewufstsein. Und die Reaktion, die alsdann zu stande kommt, ist wieder nicht unmittelbar von der Art und Stärke des Sinnesreizes abhängig; sie ist bestimmt durch den mehr oder weniger gefühlsbetonten Bewufstseinszustand. Wie man die Sache auch wendet und kehrt, stets bleibt es der Bewufstseinszustand, der den entscheidenden Einflufs auf das verlängerte Mark und somit auf die körperlichen Veränderungen hat. Das Gefühl kann aber doch unmöglich ein Ergebnis der körperlichen Veränderungen sein, wenn es selbst existieren soll, damit diese Veränderungen zu stande kommen können. Mit andern Worten: Es gibt keine Möglichkeit, Langes Theorie zu behaupten, da sie in ihren Konsequenzen mit der Erfahrung in Widerspruch gerät.

Die Gefühlsbetonung ist also als ein an einen gegebenen Vorstellungsinhalt geknüpftes psychisches Moment zu betrachten, das sich nicht aus körperlichen Veränderungen ableiten läfst; im Gegenteil sind letztere zum Teil davon abhängig, ob die Gefühlsbetonung vorhanden ist oder nicht. Damit ist die Bedeutung der körperlichen Reaktionen für das Bewufstseinsleben offenbar aber nicht eliminiert. Selbst wenn sie nicht primär und für das Gefühl entscheidend sind, können sie darum ja doch als sekundäre Erscheinungen sehr wohl wesentlichen Einflufs auf den gesamten Bewufstseinszustand üben. Die James-Lehmannsche Theorie behauptet gerade die Auffassung: dafs Organempfindungen, die von den körperlichen Störungen herrühren, welche durch ein primäres Gefühl hervorgerufen wurden, denjenigen komplexen Zuständen einverleibt werden, welche wir Affekte nennen. In der That zeigen unsere Versuche, dafs es nicht nur die Gemütsbewegungen im engeren Sinne des Wortes sind, die von starken körperlichen Veränderungen begleitet werden, denn sogar einfache Sinnesempfindungen können oft bedeutende organische

Digitized by Google

Reaktionen zur Folge haben. Ja, wir erblicken solche sogar bei einer reinen Denkarbeit, welche die Gefühle des Individuums anscheinend durchaus nicht in Bewegung setzt. Konsequent müssen wir also die Möglichkeit eingestehen, dafs Organempfindungen an jedem Bewufstseinszustande mitbeteiligt sind; sehr oft merken wir sie natürlich jedoch nicht, wenn die Aufmerksamkeit von einem andern Vorstellungsinhalt gänzlich in Anspruch genommen wird, z. B. von einer Denkarbeit oder dergl. Eine je gröfsere Rolle sie aber im gesamten Bewufstseinszustande spielen, um so mehr erhält dieser den Charakter des Affekts.

Durch diese Auffassung der Sache wird auch eine Erscheinung verständlich, welche sich durch Langes Theorie wohl kaum erklären läfst. Wir sahen, dafs während sehr starker Spannung sogar intensive Ursachen der Unlust fast keine körperlichen Veränderungen herbeiführen (vgl. z. B. Tab. XXI, B—D). Wenn die körperlichen Reaktionen aber unterbleiben, so sollte nach Langes Theorie auch kein Gefühl entstehen können, das ja nur die Empfindung der Störungen des Organismus wäre. Die Konsequenz hiervon ist, dafs Ammoniak, Chinin und ähnliche unangenehme Sachen keine Unlust erregen könnten, nur weil man, in Spannung sitzend, ihr Kommen erwartet hätte. Diese Konsequenz wird wohl niemand im Ernst unterschreiben; sie widerstreitet denn auch der Erfahrung. Starkes Ammoniak ist immer äufserst unangenehm, einerlei, wie der vorhergehende Gemütszustand gewesen sein mag. Der gesamte Bewufstseinszustand ist aber nicht unabhängig hiervon. Hat man in Spannung gewartet, so wird jeder Reiz eine Erleichterung, eine Verminderung dieser Spannung herbeiführen. Dies verrät sich dadurch, dafs die körperlichen Reaktionen ganz andere werden, als wenn keine Spannung vorausgegangen wäre. Mit der Veränderung der körperlichen Reaktionen variieren aber auch die Organempfindungen, und folglich wird der gesamte Bewufstseinszustand ein andrer. Der Ammoniakgeruch ist immer gleich unangenehm, er ist aber sozusagen auf andre Weise unangenehm, wenn man sich in Spannung, als wenn man sich in völlig normalem Gleichgewicht des Gemüts befunden hat. Dies zeigt die Selbstbeob-

Digitized by Google

achtung, und die auf die Versuche sich stützende Theorie ist im stande, es zu erklären. Dieser Punkt scheint also ein andrer Probierstein unsrer Theorie zu sein, da die Langesche auch hier zu unhaltbaren Konsequenzen führt.

Endlich scheinen die vorliegenden Versuche einiges Licht auf die eigentümlichen Gemütszustände zu werfen, die man Stimmungen nennt. In die Tafeln sind freilich nicht viele Kurven aufgenommen, die den Ausdruck der Stimmungen zeigen, das Vorliegende genügt indes, um das Verhalten zu charakterisieren. Tab. XXXVIII, B gibt den typischen Ausdruck der deprimierten Stimmung; dieselben Eigentümlichkeiten finden sich wieder in den Tab. X, A und LI, A. Besonders die beiden letzteren Kurven sind hier von Interesse. In diesen beiden Fällen wurden nämlich Versuche angestellt, welche einige Zeit hindurch die Aufmerksamkeit des Individuums beanspruchten; während dieser Versuche verschwindet die Stimmungsreaktion mehr oder weniger, kehrt aber wieder zurück, sobald die Unterbrechung aufhört. Dieses fortwährende Zurückkehren des nämlichen anormalen körperlichen Zustands ist eben der Stimmung so charakteristisch. Man kann stundenlang mit einem deprimierten Individuum experimentieren und ihm keinen Augenblick Zeit lassen, an das die Stimmung Verursachende zu denken. Dennoch stellt sich der charakteristische körperliche Zustand wieder ein, sobald die Aufmerksamkeit durch nichts anderes gefesselt wird. In der Stimmung sind die Organempfindungen also offenbar die Hauptsache, während die Erinnerung an die Ursache der Stimmung nur einzelne Augenblicke hindurch im Bewufstsein auftaucht[1]. Oder mit andern Worten:

[1] In einer interessanten kleinen Schrift: »Zur Lehre vom Gemüt«, Berlin 1898, kommt Rehmke zu demselben Ergebnis. Der eingehenden und scharfsinnigen Kritik des Verfassers über die Lehre von der Verschmelzung der Gefühle zu gemischten Gefühlen und Gefühlsmischungen kann ich in der Hauptsache beistimmen; weniger verständlich ist es mir dagegen, was dadurch gewonnen sein sollte, dafs der Ausdruck »Gefühlston«, der nun einmal eingebürgert ist, durch den von Rehmke gebrauchten »Gefühlswert« ersetzt wird. Es wird hierdurch allerdings erreicht, dafs der Gefühlston allen Anstrich eines selbständigen Elements verliert, das sich zu einem Vorstellungsinhalt

Digitized by Google

Die Stimmung ist ein chronischer Gefühlszustand, der durch einen eigentümlichen organischen Zustand erhalten wird, welcher stets von neuem wieder eintritt, selbst wenn andre Bewufstseinszustände ihn zeitweilig durch die von ihnen verursachten körperlichen Veränderungen unterbrechen.

Hiermit ist es nun auch gegeben, weshalb eine vorhandene Stimmung dem neuen Bewufstseinsinhalt stets ihren eigentümlichen Gefühlston verleiht. Denn die durch den neuen Bewufstseinsinhalt hervorgerufenen körperlichen Veränderungen gestalten sich anders während der Stimmung, als wenn das Individuum sich in normalem Gleichgewicht des Gemüts befindet (vergl. Tab. LI, A). Bei solcher Verschiedenheit der körperlichen Reaktionen wird aber auch der gesamte Bewufstseinszustand ein andrer.

Wir haben nun auseinandergesetzt, welche Bedeutung für unser Bewufstseinsleben den körperlichen Reaktionen erfahrungsgemäfs beigelegt werden darf. Diese Bedeutung ist, wie wir sahen, nur eine sekundäre, indem die körperlichen Veränderungen stets einen Bewufstseinszustand zur Ursache verlangen. Dieser Zustand wird freilich durch diejenigen Organempfindungen modifiziert, welche der Organismus zum Bewufstsein zurücksendet; der ursprüngliche Bewufstseinszustand, das primäre Gefühl, ist jedoch das Entscheidende, da seine Art und Stärke die körperliche Reaktion bestimmen. Welche Bedeutung haben nun aber alle diese organischen Veränderungen, wozu dienen sie? Diese Frage umgehen alle Forscher mit Vorsicht. Eben weil diese Reaktionen so äufserst regelmäfsig und gesetzmäfsig sind, wie die Versuche zeigten, ist es unmöglich, sich

---

addiert; da aber doch in der That niemand annimmt, ein psychischer Zustand sei aus Elementen auf dieselbe Weise erbaut, wie eine chemische Verbindung aus materiellen Atomen, so ist eine Polemik hiergegen nahezu überflüssig. Die psychologische Analyse zusammengesetzter seelischer Zustände läfst sich nicht vermeiden — Rehmke hat selbst diese Methode in grofsem Umfang angewandt —, und diese führt auf natürliche und notwendige Weise zu gewissen elementaren Zuständen; einer derselben ist das Gefühlselement, und ob man dieses »Gefühlston« oder »Gefühlswert« nennt, scheint mir ziemlich gleichgiltig. Weshalb dann nicht bei der alten Bezeichnung bleiben?

Digitized by Google

dieselben nur als Ausladung der überflüssigen Energie zu denken, die während der psychischen Thätigkeit im Gehirn freigemacht wird. Und wo finden wir übrigens den Beweis, dafs mehr der latenten Energie der Nervenzellen freigemacht werde, als gerade für den Augenblick nötig ist? Noch weniger kann man annehmen, diese organischen Veränderungen seien nur erbliche Rudimente von Mafsregeln, die für den Urmenschen zweckmäfsig, jetzt aber ohne Bedeutung sind. Um einer solchen Auffassung huldigen zu können, mufs man sich gewifs durch jahrelanges, unverwandtes Anstarren der Evolutionstheorie selbst hypnotisiert haben. Es kann mit andern Worten wohl keinem Zweifel unterliegen, dafs die organischen Veränderungen zweckmäfsig sind, dazu dienen, einen vorhandenen psychophysischen Zustand zu erhalten oder die durch einen Bewufstseinszustand im Gehirn hervorgerufenen Störungen auszugleichen. Wie jedes andre Organ fordert auch das Gehirn während seines Arbeitens wahrscheinlich gröfseren Blutzuflufs, als wenn es ruht, und es wird deshalb wahrscheinlich, dafs die beobachteten organischen Veränderungen zur Regulierung des Zuflusses dienen[1].

In den vorliegenden Versuchen findet sich zwar mehreres, das die Richtigkeit dieser Hypothese befürworten könnte, ich werde jedoch nicht hierbei verweilen, denn das Problem ist zu wichtig, als dafs wir uns mit Vermutungen und Wahrscheinlichkeiten begnügen könnten. Wäre es möglich, auf irgend eine Weise darüber ins reine zu kommen, welche Veränderungen des

[1] Diese Auffassung stellte zuerst gewifs L. Hill auf: »The physiology and pathology of cerebral circulation«. London 1896. Der Verf. findet mittels physiologischer Versuche an Tieren, dafs im Gehirn niemals vasomotorische Veränderungen vorkommen; er schliefst hieraus, dafs die Blutzirkulation im Zentralorgan ausschliefslich durch diejenigen Veränderungen bedingt sei, welche draufsen im Organismus umher vorgehen. Über die Richtigkeit dieser Versuche und der hieraus gezogenen Schlüsse getraue ich mir keine Meinung zu. Wollte man aber einmal zur Veränderung von Menschen auf Tiere schliefsen, so läge folgender Einwurf nahe. Wir sahen, dafs bei Menschen der Bewufstseinszustand, nicht aber der Reiz die organischen Veränderungen bestimmt. Hills Versuchstiere waren immer narkotisiert, also ohne Bewufstsein. Dies möchte vielleicht die Ursache sein, weshalb sich keine Reaktionen nachweisen lassen.

Digitized by Google

Blutumlaufs, namentlich des Blutzuflusses nach dem Gehirn, während der verschiedenen psychischen Thätigkeiten stattfinden, so wäre hiermit der erste Schritt gethan, um eine Psychodynamik zu beschaffen, deren theoretische Konsequenzen für den Augenblick ganz unabsehbar sind. Wirkliche Einsicht in diese Verhältnisse nebst der hier nachgewiesenen Thatsache, daſs der Bewuſstseinszustand, nicht aber der äuſsere Reiz die körperlichen Reaktionen bestimmt, würde zu einem weit eingehenderen Verständnis des Verhältnisses zwischen dem Psychischen und dem Körperlichen führen, als alle Messungen der Psychophysik uns bisher zu geben vermocht haben. Den näheren Nachweis hiervon zu versuchen, würde zur Zeit wohl zu keinem Ergebnis führen, da es uns noch an jeglicher Thatsache gebricht, auf die eine solche Ausführung sich stützen lieſse. Aus diesem Grunde werde ich mich hier auch nicht auf die ferneren theoretischen Betrachtungen einlassen, zu denen die bereits vorliegenden Versuche den Anlaſs geben könnten. Vorerst müssen wir untersuchen, wie weit wir mit Hilfe des uns zur Verfügung stehenden empirischen Materials in der Beantwortung der aufgeworfenen Frage gelangen können. Läſst das Problem sich nicht unter Anwendung dieser Mittel lösen — was nur wenig wahrscheinlich ist —, so müssen wir uns nach andern experimentellen Methoden umschauen, die es ermöglichen, der Sache näher zu Leibe zu rücken. Gelingt es uns dann, auf irgend einem Wege ein zuverlässiges Erfahrungsmaterial zu sammeln, so wird es an der Zeit sein, theoretische Konsequenzen zu ziehen. Das Phantasieren auf Grundlage ungenügender Erfahrungen mag vielleicht gute Philosophie sein, Wissenschaft ist es aber nicht.

DIE PHYSIOLOGISCHEN URSACHEN DER KÖRPERLICHEN ÄUSSERUNGEN.

Die in unsern graphischen Aufzeichnungen erscheinenden Veränderungen des Armvolumens und des Pulses können uns direkt keine Auskunft über die

Digitized by Google

Blutumlaufsverhältnisse in andern Teilen des Organismus geben. Soll man hierüber etwas schliefsen können, so mufs man jedenfalls erst wissen, welche physiologischen Faktoren die wahrgenommenen Veränderungen verursacht haben, und welcher Anteil an diesen Veränderungen jedem einzelnen der thätigen Organe: dem Herzen, den Blutgefäfsen, den Lungen u. s. w., zuzuschreiben ist. Aber auch wenn es gelingt, dies ins klare zu bringen, ist die Aufgabe damit doch nicht gelöst, ja es ist nicht einmal gegeben, dafs sie lösbar ist. Nehmen wir ein bestimmtes Beispiel, um von etwas Positivem zu sprechen. Wir gehen also davon aus, dafs die Kurve ein Abnehmen des Armvolumens zeigt. Sicher ist es dann, dafs mehr Blut aus dem Arm als nach diesem geflossen ist. Wir nehmen nun an, dafs wir aus den gleichzeitigen Veränderungen der Pulshöhe und der Pulslänge, aus der Form der Pulse u. s. w. erklären können, wie die Abnahme des Volumens durch langsameren Herzschlag nebst einer Gefäfskontraktion im Arm und mithin vermutlich an der ganzen Oberfläche des Körpers verursacht wird. Darum wissen wir aber offenbar nicht das geringste davon, wo das aus dem Arm und der Oberfläche des Körpers abfliefsende Blut geblieben ist. Möglicherweise dient es zur Unterhaltnng eines geschwinderen Umlaufs durch das Gehirn, es kann aber auch in den grofsen Venenstämmen aufgestaut werden, oder es kann durch nicht-kontrahierte Arterien im Inneren des Organismus leichteren Abflufs finden. Alle diese Möglichkeiten stehen offen, und solange man nicht mehr Erfahrungen besitzt als diejenigen, welche uns vorläufig zur Verfügung stehen, wird man nichts mit Sicherheit sagen können. Das Gebiet der Erfahrung mufs also erweitert werden, und zwar am liebsten so, dafs man wirklich über die Verhältnisse, die von Bedeutung sind, Aufschlüsse erhält. Sich daran machen, den Blutdruck in einer peripheren Arterie zu messen, was man in der jüngsten Zeit versucht hat, scheint mir keinen grofsen Nutzen zu bringen. Ganz davon abgesehen, dafs die Messung mit Mossos Sphygmomanometer sich auf eine nicht bewiesene Annahme stützt, ist der Blutdruck selbst von so vielen zusammenwirkenden Faktoren abhängig, dafs wir den Anteil, den jeder ein-

zelne derselben an den Druckveränderungen hat, gar nicht zu bestimmen vermögen. Soll es gelingen, mit dem Blutzuflufs nach dem Gehirn ins klare zu kommen, so mufs man direkt auf das Problem losgehen und die Veränderungen des Kreislaufs in der Carotis zu bestimmen suchen. Wie dies sich an einem normalen, unverletzten Menschen thun läfst, hoffe ich in einem folgenden Teile dieser Untersuchungen zeigen zu können.

Vorläufig müssen wir also auf die Beantwortung unserer Hauptfrage verzichten, darum ist es aber doch nicht ohne Bedeutung, eine physiologische Auslegung der Kurven zu versuchen. Sind wir wirklich im stande, mittels derselben klar zu machen, welche Veränderungen in den verschiedenen auf den Blutkreislauf influierenden Organen stattfinden, so sind wir jedenfalls der Lösung der Hauptfrage einen Schritt näher gerückt. Und sollte es sich erweisen, dafs eine physiologische Deutung der Kurven unmöglich wird, so ist dieses Ergebnis ebenfalls von Wert, weil wir daraus lernen können, an welchen Punkten es an den erforderlichen Thatsachen gebricht, und was man infolgedessen durch künftige experimentelle Untersuchungen auf diesem Gebiete vorzüglich aufzuklären suchen mufs. Es leuchtet nun aber auch ein, dafs der Versuch einer Auslegung der Kurven nur dann von einigem Wert sein kann, wenn man sich willkürlicher Hypothesen streng enthält, sich keinen Schritt von dem sicheren Boden der Erfahrung entfernt. Hypothesen aufstellen fällt nicht schwer. In den »Hauptgesetzen« suchte ich, mich auf Langes klinische Beobachtungen und die von meinen Kurven dargebotenen Anhaltspunkte stützend, eine hypothetische Erklärung durchzuführen, um einen Überblick darüber zu erhalten, was während der verschiedenen Gemütsbewegungen wahrscheinlich im Organismus vorgeht. Ein derartiger Versuch hat natürlich seine Berechtigung, wenn er nicht den Anspruch macht, etwas mehr als eine wahrscheinliche Erklärung zu geben. Jetzt können wir aber keine Wahrscheinlichkeiten gebrauchen, sondern nur Gewifsheit, diese werde nun eine positive Gewifsheit dessen, was vorgeht, oder die rein negative Gewifsheit, dafs wir nichts wissen können. Nur wenn wir fortwährend dies vor Augen haben, wird es möglich sein,

Digitized by Google

zu entscheiden, an welchem Punkte wir eine eventuelle Erweiterung des Erfahrungsgebietes erstreben müssen. Und der Gang der Arbeit wird ganz natürlich der werden, dafs wir die Volumveränderungen, die Pulshöhen und die Pulsformen, jedes für sich, betrachten, um zu untersuchen, was wir aus diesen über den Zustand der verschiedenen Organe lernen können.

Die Volumveränderungen. Das Volumen des Arms ist erstens von der Frequenz des Herzschlages abhängig. Je geschwinder das Herz arbeitet, um so mehr Blut wird, unter sonst gleichen Umständen, aus den grofsen Venenstämmen im Innern in das arterielle System übergepumpt werden, mithin wird das Armvolumen also zunehmen. Umgekehrt wird der langsamere Herzschlag eine Verminderung des Armvolumens herbeiführen. Aus den Kurven sehen wir denn auch, dafs Volumsenkung und Pulsverlängerung (langsamerer Herzschlag) gewöhnlich zusammen gehen, ebenso wie Volumsteigung und Pulsverkürzung. Überall, wo dies stattfindet, dürfen wir also sicher davon ausgehen, dafs die wahrgenommenen Volumveränderungen wenigstens zum Teil von Veränderungen der Frequenz des Herzschlages herrühren; selbstverständlich vermögen wir aber nicht zu entscheiden, ob nicht auch noch andre Ursachen mitwirkten. Anderseits: wo Pulsverlängerung und Volumsteigung, Pulsverkürzung und Volumsenkung gleichzeitig eintreten, dort kann man mit Sicherheit schliefsen, dafs andre Kräfte thätig gewesen sind, die im stande waren, die durch die Veränderungen des Herzschlages verursachten Volumveränderungen zu überwinden.

Das Volumen des Arms ist ferner zweitens von der gröfseren oder geringeren Weite der Blutgefäfse abhängig, und zwar kann dieses Abhängigkeitsverhältnis wieder ein direktes oder ein indirektes sein. Direkt wird das Armvolumen durch Veränderungen der Gefäfse des Arms selbst beeinflufst: eine Gefäfsverengerung bewirkt Verminderung, eine Gefäfserweiterung Vergröfserung des Volumens. Indirekt oder passiv wird das Armvolumen durch vasomotorische Veränderungen in andern Teilen des Organismus verändert. Denn das Blut, das bei jedem Herzschlag in den Körper ausgestofsen wird, mufs sich der Wegsamkeit der einzelnen Bahnen

entsprechend verteilen. Findet also in irgend einem Teile des Organismus eine Gefäfsverengerung statt, so wächst damit der Widerstand gegen das Vordringen des Blutes auf diesen Bahnen, weshalb eine relativ gröfsere Menge in die nicht verengerten Arterien strömen und somit eine Volumvergröfserung der betreffenden Organe hervorrufen wird. Umgekehrt wird eine Gefäfserweiterung in irgend einem Teile des Organismus zur Folge haben, dafs relativ weniger Blut in die nichtdilatierten Arterien abfliefst, und das Volumen der betreffenden Organe abnimmt. Selbst wenn die vasomotorischen Verhältnisse des Arms ganz unverändert bleiben, können also durch Gefäfsverengerung und Gefäfserweiterung in andern Teilen des Organismus Steigungen, resp. Senkungen des Volumens entstehen. Es braucht doch wohl kaum bemerkt zu werden, dafs man aus den Veränderungen des Armvolumens selbst nicht ersehen kann, inwiefern diese direkt oder indirekt durch vasomotorische Veränderungen verursacht sind. Dies läfst sich nur entscheiden, wenn man mittels anderer Kennzeichen nachzuweisen vermag, ob die Weite der Armgefäfse sich erweitert hat oder nicht.

Endlich ist das Armvolumen drittens von der gröfseren oder geringeren Leichtigkeit abhängig, mit welcher das venöse Blut aus dem Arm abfliefst. Dieser Faktor macht sich schon bei Veränderungen der Frequenz des Herzschlags geltend. Hat das Herz kurze Zeit hindurch rasch geschlagen, so sind die grofsen Venenstämme verhältnismäfsig blutleer; schlägt das Herz nun plötzlich in ein langsameres Tempo um, so sinkt das Armvolumen nicht nur wegen geringeren Zuflusses arteriellen Bluts, sondern auch, weil der Abflufs nach den blutleeren Venen in hohem Grade erleichtert ist. Das umgekehrte Verhältnis findet selbstfolglich statt, wenn die Frequenz des Herzschlages sich in entgegengesetzter Richtung verändert. Den wesentlichsten Einflufs auf die Strömung des venösen Bluts hat doch zweifelsohne die Atmung. Während der Inspiration wächst die Kapazität der Lungenkapillaren, während der Exspiration nimmt diese ab; beim Einatmen findet das venöse Blut folglich leichten Abflufs nach den Lungen, beim Ausatmen wird es dagegen in dem übrigen Teile des Orga-

Digitized by Google

nismus aufgestaut. Hiervon rühren die Respirationsoszillationen des Armvolumens her, welches während normaler, ruhiger Atmung bei der Inspiration ein geringes Sinken, bei der Exspiration ein Steigen zeigt. Bei besonders tiefen und langsamen Atemzügen werden die Verhältnisse verwickelter, vgl. Tab. V. A. In diesem Falle beginnt das Sinken des Volumens zwar zugleich mit der Exspiration, es dauert aber die ganze Pause hindurch bis gegen die Mitte der folgenden Inspiration, worauf das Volumen bei einer Reihe geschwinder Pulsschläge rasch steigt. Da hier, wie die Kurven zeigen, während der Volumsenkung der Puls stets langsam, während der Steigung aber geschwind ist, so scheinen diese Pulsverhältnisse im Verein mit der durch die Atmung hervorgerufenen Veränderung im Abflusse des venösen Bluts zu genügen, um die vorkommenden Veränderungen des Rauminhalts zu erklären. Dies schliefst natürlich nicht aus, dafs nicht auch andre Faktoren mitbethätigt sein könnten. Ein positiver Beweis dafür, dafs die Atmung vasomotorische Veränderungen erzeugt, ist meines Wissens bisher nicht geführt worden.

Das Resultat aller dieser Betrachtungen wird in Kürze folgendes: Wenn Volumsteigung gleichzeitig mit Pulsverkürzung, Volumsenkung gleichzeitig mit Pulsverlängerung eintritt, was in den allermeisten Fällen geschieht, so darf man schliefsen, dafs die Volumänderungen durch Veränderungen der Frequenz des Herzschlags verursacht sind, indem die Möglichkeit andrer mitwirkenden Kräfte jedoch nicht ausgeschlossen ist. Treten dagegen Volumsenkung und Pulsverkürzung, Volumsteigung und Pulsverlängerung gleichzeitig ein — was bei den meisten starken Unlustgefühlen, letzteres auch in seltenen Fällen entschiedener Lust, stattfindet —, so weifs man mit Sicherheit, dafs vasomotorische Veränderungen vorgegangen sein müssen, welche die Veränderungen des Rauminhalts, die durch Änderungen der Frequenz des Herzschlags allein hervorgerufen sein könnten, bekämpft und ausgeglichen haben. Ob diese vasomotorischen Veränderungen aber direkt oder indirekt auf das Armvolumen influiert haben, das läfst sich nicht entscheiden. Endlich können die Respirationsoszillationen auf die durch die Atmung bewirkten Ver-

Digitized by Google

änderungen des venösen Blutabflusses nebst den Veränderungen der Frequenz des Herzschlages zurückgeführt werden: auch hier sind andre, mitwirkende Kräfte jedoch nicht ausgeschlossen.

Die Pulshöhen. Die Höhe sowohl des Druckpulses, als die des Volumpulses ist erstens von der Frequenz des Herzschlages abhängig. Je langsamer das Herz schlägt, um so mehr wird es mit Blut angefüllt, um so gröſser wird also auch die mittels der Kontraktion ausgetriebene Blutmenge und somit die Höhe des Pulses. Man kann also auch sagen, daſs die Pulshöhe und die Pulslänge, wenn alles andre unverändert bleibt, in derselben Richtung variieren werden: mit gröſserer Pulslänge geht gröſsere Pulshöhe zusammen. Dieses Verhalten läſst sich natürlich nicht überall nachweisen, weil die Pulshöhe auch von andern Kräften als dem Umfang der Herzbewegung abhängig ist, in gewissen Fällen tritt es aber äuſserst deutlich hervor, z. B. bei allen von der Atmung herrührenden Pulsveränderungen. Dies ist aus Tab. LXV zu ersehen.

Tab. LXV. A u. B. 17/12 96 nachm. A. L. Willkürliche Veränderungen der Atmung. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis. B ist die unmittelbare Fortsetzung von A.

Tab. LXV. C u. D. 17/9 96 nachm. P. L. Willkürliche Veränderungen der Atmung. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Diesen Kurven schlieſst sich auſserdem an:

Tab. LXVIII. D. 10/12 96 nachm. P. L. Der Valsalvasche Versuch. Plethysmogramm des linken Arms, rechte Radialis (unter dem Plethysmogramm).

Man sieht aus allen diesen Kurven, daſs die Höhe des Druck- und des Volumpulses stets in derselben Richtung variiert, zu gleicher Zeit anwächst und abnimmt, und überdies steht die Höhe in solchem Verhältnis zur Länge, daſs sie mit dieser zugleich anwächst und abnimmt. Ich habe die Gröſsen zwar nicht gemessen, weil die Variationen so groſs sind, daſs sie sich leicht ersehen lassen, findet sich aber irgendwo eine Abweichung von dem genannten Abhängigkeitsverhältnisse, so ist dieselbe jedenfalls eine so geringe, daſs sie sich

Digitized by Google

der unmittelbaren Betrachtung entzieht. Man darf also sagen, dafs im allgemeinen die Pulshöhe mit der Pulslänge zugleich wachsen und abnehmen wird, es sei denn, dafs andre Faktoren die Höhe des Pulses modifizieren. Was dies bedeutet, werden wir sogleich näher erörtern.

Die Pulshöhe ist nämlich zweitens von der Weite der Blutgefäfse abhängig, und zwar wieder auf zweifache Weise, entweder direkt durch Veränderungen der Gefäfsweite im Arm oder indirekt dadurch, dafs die Gefäfse in andern Teilen des Organismus ihr Volumen verändern, während die Gefäfse des Arms unverändert bleiben. Die Wirkung dieser verschiedenen Veränderungen wird indes nicht dieselbe auf den Volumpuls wie auf den Druckpuls; wir müssen deshalb jeden derselben für sich betrachten. — Eine Gefäfsverengerung im Arm wird zur Folge haben, dafs der Widerstand hier anwächst, weshalb das Blut hauptsächlich die mehr fahrbaren Bahnen einschlagen wird. Dies mufs im Plethysmogramm, welches eben die bei jedem Herzschlag in den Arm gepumpte Blutmenge angibt, eine Verminderung der Pulshöhe herbeiführen; umgekehrt wird eine Gefäfserweiterung im Arm vergröfserte Pulshöhe zur Folge haben. Es ist nun aber leicht zu sehen, dafs man aus Veränderungen der Pulshöhe nicht ohne weiteres auf vasomotorische Erscheinungen schliefsen kann. Denn wie wir oben fanden, wird auch der Herzschlag eine Ursache der Verschiedenheit der Pulshöhe sein, indem verminderte Pulslänge verminderte Pulshöhe bewirkt. Hieraus folgt also: Wenn eine Verminderung der Pulshöhe gleichzeitig mit einer Verminderung der Pulslänge stattfindet, so läfst sich kein Schlufs ziehen, weil der Unterschied der Höhe vom Herzschlag allein, möglicherweise aber auch von gleichzeitigen vasomotorischen Erscheinungen herrühren kann. Nimmt dagegen die Pulshöhe ab, während zugleich die Pulslänge zunimmt, so müssen vasomotorische Veränderungen eingetreten sein. Ob diese vasomotorischen Veränderungen im Arme selbst oder in andern Teilen des Organismus vorgegangen sind, das läfst sich jedoch wieder nicht entscheiden. Denn ganz denselben Einflufs auf die Pulshöhe, den eine Gefäfsverengerung im Arme hat, wird auch eine Gefäfserweiterung in andern Teilen des Or-

ganismus haben, weil das Blut stets die wegsamsten Bahnen aufsucht und deshalb in geringerer Menge nach den unveränderten Gefäſsen im Arm, als nach den dilatierten Gefäſsen z. B. im Innern des Organismus abflieſst. Mit andern Worten: In einzelnen bestimmten Fällen können wir aus den Veränderungen der Höhe des Volumpulses nachweisen, daſs vasomotorische Veränderungen vorgegangen sein müssen, wir können aber nicht entscheiden, wo sie stattgefunden haben, oder welcher Art sie sind.

Betrachten wir nun den Druckpuls, so erhalten wir hier jedenfalls einen positiven Anhaltspunkt. Eine Gefäſsverengerung im Arme wird allerdings, ebenso wie es mit dem Volumpuls der Fall war, eine Verminderung der Pulshöhe zur Folge haben. Ist aber die Gefäſsverengerung keine rein lokale — was gewiſs selten stattfindet —, sondern erstreckt sie sich über einen gröſseren Teil des Organismus, so muſs der arterielle Blutdruck steigen, und mithin wächst auch die Höhe des Druckpulses, weil diese, bei meiner Konstruktion des Sphygmographen, die Gröſse des Blutdrucks ausdrückt. In diesem Falle also, wo im Arm und in einem bedeutenden Teile des Organismus eine Gefäſsverengerung vorhanden ist, wird das Sphygmogramm gröſsere Pulshöhe zeigen, während das Plethysmogramm geringere Pulshöhe angibt, und wo diese beiden Erscheinungen gleichzeitig auftreten, sind wir also im stande, auf die Ursache zurück zu schlieſsen. Auf allen vorliegenden Tafeln habe ich indes nur in drei Kurven eine in entgegengesetzter Richtung gehende Variation der Pulshöhen finden können, nämlich Tab. XXXI, C, Phase c-e; Tab. XXXVII, C, Phase c-e, und Tab. XXXVIII, A, Phase c-d. Alle drei Kurven drücken lebhafte Unlust aus, und von diesem Zustand läſst sich also behaupten, daſs er von Gefäſsverengerung in einem bedeutenden Teile des Organismus begleitet wird. Wahrscheinlich findet auch in Fällen schwächerer Unlust eine Gefäſsverengerung statt, diese ist dann aber nicht so ausgedehnt, daſs das Sphygmogramm vergröſserte Pulshöhe anzeigt, und wir können sie deshalb nicht konstatieren. In Analogie hiermit wird man selbstverständlich aus gleichzeitiger Vergröſserung des Volum-

pulses und Verminderung des Druckpulses auf eine Gefäfserweiterung im Arm und in einem bedeutenderen Teile des Organismus schliefsen können. Einen Fall dieser Art kann ich in meinen Kurven indes nicht finden.

Ehe wir nun zur Betrachtung der Pulsformen als letzten Hilfsmittels zur Deutung der Kurven übergehen, mufs ich noch eine Eigentümlichkeit der Pulshöhen, ihr periodisches Schwanken nämlich, erwähnen. Diese Erscheinung, deren Ursache gewifs in klimatischen Verhältnissen zu suchen ist, hat mit den vorliegenden Betrachtungen allerdings nichts zu schaffen und liegt überhaupt ganz aufserhalb des Rahmens unsrer Untersuchungen, aber eben deswegen kann sie ebensowohl hier als an irgend einem andern Orte berührt werden, da sie ohne Zweifel Erwähnung verdient. Schon im Frühling 1895 bemerkte ich, dafs die Höhe des Volumpulses bei allen Versuchspersonen von der Mitte des März an bis in den Juni, da die Versuche eingestellt wurden, recht bedeutend zunahm. Um die Erscheinung zu verfolgen, wachte ich darüber, dafs die Einstellung des Schreibhebels niemals verändert wurde, zweimal des Jahres ausgenommen, wenn es notwendig war, die Trommeln mit neuen Gummimembranen zu versehen. Infolgedessen lassen sich alle im Laufe eines Halbjahres aufgenommenen Volumpulshöhen miteinander vergleichen. Damit ein solcher Vergleich aber ein zuverlässiges Resultat gebe, müssen natürlich verschiedene Umstände berücksichtigt werden. Erstens darf man nur Normalkurven, Kurven, die während völligen Gleichgewichts des Gemüts genommen sind, miteinander vergleichen, da jede Abweichung von diesem Zustande sogleich eine Variation der Pulshöhe herbeiführt. Und ferner mufs man auch beachten, dafs die Frequenz des Herzschlages in diesen Kurven die nämliche ist, weil die Pulshöhe, wie wir sahen, mit der Pulslänge variiert. Die Erfüllung der letzteren Bedingung ist freilich ziemlich schwer, weil das Herz eines gegebenen Individuums selbst unter anscheinend ganz denselben Verhältnissen nicht genau die nämliche Anzahl Schläge pro Minute ausführt. Indes habe ich alle meine Originaltafeln durchgegangen und hierin an zwei Versuchspersonen eine Reihe von Kurvenstrecken ausgesucht, die, soweit

möglich, die gestellten Forderungen erfüllen. Wo es nicht möglich war, die Normalkurve eines einzelnen Tages mit einem gewissen Durchschnitt der Pulslänge zu finden, wählte ich zwei Kurvenstrecken, eine mit gröſserer und eine andre mit kürzerer Pulslänge aus. Diese Kurven sind in chronologischer Ordnung in der Tab. LXVI zusammengestellt.

Tab. LXVI, Spalte 1—3, bis zum offenen Zwischenraum, zeigt die Variationen der Pulshöhe bei A. L. im Verlaufe von ungefähr zwei Jahren. Dieser Zeitraum ist jedoch wegen der erwähnten Veränderungen rücksichtlich der Einstellung der Schreibhebel in vier Perioden zu teilen, und nur innerhalb jeder einzelnen dieser Perioden lassen sich die Höhen vergleichen. Periode 1, vom 14/3 95 bis 10/6 95, zeigt Zunahme der Pulshöhe. Periode 2, vom 10/6 95 bis 16/12 95, zeigt erst fast konstante Pulshöhe bis zum 10/10, darauf Abnahme. Periode 3, vom 18/2 96 bis 8/10 96, zeigt ein etwas unregelmäſsiges Zunehmen bis zum 14/4, darauf ziemliche Konstanz. Periode 4, vom 8/9 96 bis 17/12 96, zeigt erst ungefähr konstante Pulshöhe bis zum 20/10, darauf deutliches Abnehmen.

Tab. LXVI, Spalte 3 u. 4 zeigt die Schwankungen der Pulshöhe bei Dr. N. und zerfällt in zwei Perioden. Periode 1, vom 14/3 95 bis 25/5 95, zeigt sehr bedeutendes Zunehmen der Pulshöhe bis zum 13/5, darauf ziemliche Konstanz. Periode 2, vom 9/6 95 bis 10/10 95, zeigt fast unveränderte Pulshöhe bis zum 19/9, darauf merkbare Abnahme.

An meinen andern Versuchspersonen fand ich ganz ähnliche Verhältnisse, da die Versuche aber nicht speziell auf eine nähere Untersuchung der Erscheinung angelegt waren, ist mein Material in dieser Beziehung ungenügend. So viel scheint doch daraus hervorzugehen, daſs die Pulshöhe vom Mai an bis gegen den Oktober ein Maximum zeigt; vom Oktober an sinkt sie bis auf ein Minimum, das vom Dezember bis fast zum März andauert, worauf sie wieder steigt. Eine nähere Untersuchung der Sache wird wahrscheinlich einen Teil dieser Zeitbestimmungen abändern und ist gewiſs auch notwendig, wenn man der Ursache der Erscheinung nachforschen will. Daſs die Temperatur des Lokals keine

Schuld trägt, glaube ich mit Sicherheit behaupten zu können. Den Winter hindurch wurde sie immer in der Höhe von 18° C. gehalten, und selbst im Sommer stieg sie sehr selten höher. Die niedrigste Temperatur, 15 bis 16° C., haben wir gewöhnlich im September bis Oktober, bevor man mit dem Einheizen recht in Gang gekommen ist, das Minimum der Pulshöhe fällt aber keineswegs, wie wir sahen, in diesen Zeitpunkt. Es kommt mir viel wahrscheinlicher vor, dafs die Erscheinung in irgend einer Weise mit dem Wechsel der Temperatur im Laufe des Jahres in Verbindung steht.

Die Pulsformen. Dafs die Form des Pulses, die Lage des Dikrotismus und der übrigen sekundären Erhöhungen in hohem Grade von dem Zustande der Gefäfse abhängig ist, steht kaum zu bezweifeln. Trotzdem recht bedeutende Arbeit an die Untersuchung dieser Verhältnisse angewandt worden ist, hat man jedoch noch lange nicht ins reine gebracht, was die verschiedenen bekannten Veränderungen der Pulsformen verursacht[1]. Es ist also keine grofse Hoffnung, dafs wir auf diesem Wege in unserer Deutung der Kurven viel weiter kommen werden, um so weniger, da alle Studien mit Bezug auf die Pulsformen den Radialispuls betreffen; so viel ich weifs, hat nur Mosso sich eingehender mit den Formen des Volumpulses beschäftigt[2]. Unmöglich wäre es doch wohl nicht, mit Hilfe dieser Vorarbeit einen Schritt weiter zu kommen; unglücklicherweise ist aber die Pulsform in allen meinen Plethysmogrammen sehr wenig charakteristisch. Vergleicht man dieselben mit Mossos Hydrosphygmogrammen[3], so wird es der Aufmerksamkeit nicht entgehen können, dafs letztere rücksichtlich der Pulsformen weit gröfsere Variation darbieten als meine Kurven, und Veränderungen, welche Mosso für sehr konstant hält — so z. B. der Übergang aus trikuspidalem in dikroten Puls während der Thätigkeit des Gehirns —, kommen in meinen Plethysmogrammen gar nicht vor. Es ist nicht schwer, zu kon-

[1] Vgl. v. Frey: Die Untersuchung des Pulses. S. 222—233.

[2] Die Diagnostik des Pulses in Bezug auf die lokalen Veränderungen desselben. Leipzig 1879.

[3] Ang. Werk, die Tafeln.

Digitized by Google

statieren, daſs dies teils von dem geringen Wasserdruck, dem der Arm fortwährend unterworfen war, und teils von dem Gummisack des Plethysmographen herrührt, der offenbar einen Teil der feineren Einzelheiten der Pulskurven verwischt hat. Zur Erhellung dieser Sache dient Tab. LXVII, wo Kurven zusammengestellt sind, die teils mittels meines gewöhnlichen Plethysmographen mit Gummisack, teils mittels desselben Apparats, als Hydrosphygmograph angewandt, also mit der Röhre nach der Wasserstandsflasche offen, aufgenommen sind, und endlich einige Hydrosphygmogramme, die mittels Mossos Apparat genommen wurden, wo der Arm sich im Wasser befindet und der Druck fast gleich null ist. Während die erstgenannten nur mit Bezug auf die Lage des Dikrotismus Verschiedenheit aufzeigen, haben die letzten denselben Reichtum an Pulsformen, den wir aus Mossos Werke kennen.

Tab. LXVII, A. $^{26}{}_{11}$ 96 nachm. P. L. Plethysmogramm mittels des gewöhnlich gebrauchten Apparats am linken Arm genommen. Nachwirkung einer Dosis Chinin, die kurz vor dem Anfang der Kurve gegeben wurde.

In betreff der Pulsform sieht man keine andre Variation als die, daſs der Dikrotismus immer mehr verwischt wird und höher gegen die Spitze hinansteigt, während das Volumen zugleich anwächst.

Tab. LXVII, B. $^{26}{}_{11}$ 96 nachm. P. L. Hydrosphygmogramm des linken Arms, mittels des gewöhnlichen Apparats mit Gummisack genommen, die Röhre nach der Wasserstandsflasche offen, 5 cm Wasserdruck. Bei ⊓ der Geruch von asa foetida.

Der Reiz bewirkt hier, daſs der Dikrotismus entschiedener wird und tiefer gegen die Basis hinabsinkt; später steigt er wieder und wird verwischt. Die Veränderung stimmt also ganz mit dem überein, was obiges Plethysmogramm zeigt. Da der direkte Druck auf den Arm im Hydrosphygmographen ein sehr geringer war, ist es gewiſs wesentlich der Gummisack, der die feineren sekundären Erhöhungen der Pulse verwischt. Diese sind in den folgenden Kurven nämlich deutlich zu sehen.

Tab. LXVII, C u. D. $^{26}{}_{11}$ 96 nachm. P. L. Hydrosphygmogramm, mittels des Mossoschen Apparats am

Digitized by Google

linken Arm aufgenommen; 1 cm Wasserdruck. Bei ⊓ Ammoniak. D ist die unmittelbare Fortsetzung von C.

Aufser denselben Veränderungen, die in den vorhergehenden Kurven zu sehen sind, treten hier mehrere sekundäre Erhöhungen am Schlusse von C auf. Am Ende von D finden sich ein paar trikuspidale Pulse.

Tab. LXVII, E. $^{23}/_{11}$ 96 nachm. J. N. Hydrosphygmogramm mit Mossos Apparat, am linken Arm genommen; 1 cm Wasserdruck. Bei ⊓ Ammoniak.

Die Kurve beginnt mit Andeutungen trikuspidaler Formen, wird unmittelbar nach der Einwirkung entschieden dikrot und kurz darauf wieder deutlich trikuspidal. Vergleicht man nun diese Kurve mit dem Plethysmogramm Tab. XXXVIII, B, das an demselben Tage an derselben V-P genommen ist, so sieht man, dafs die Pulsformen im ganzen und grofsen die nämlichen sind, nur fehlen im Plethysmogramm die feineren sekundären Wellen. Es kann also nicht davon die Rede sein, dafs unser Apparat alle Pulse sozusagen aus einer Form giefst, die feineren Einzelheiten läfst er unleugbar aber nicht hervortreten. Dies ist auch deutlich zu sehen, wenn man mit Versuchspersonen operiert, die wegen eines Herzfehlers oder dgl. Pulsformen darbieten, welche vom Normalen erheblich abweichen. Dergleichen Abweichungen treten im Plethysmogramm entschieden hervor; ein Beispiel in dieser Richtung gibt:

Tab. LXVIII, A. $^{20}/_{1}$ 96 nachm. Dr. F. Plethysmogramm, in welchem die Form des Pulses einen vorhandenen Herzfehler verrät. Während des Aufenthalts von 3 Min., den die Kurve anzeigt, führte die im Apparate sitzende V-P schwache und langsame Übungen mit der Hantel aus, die erfahrungsgemäfs günstigen Einflufs auf das Herz hatten. Der folgende Teil der Kurve zeigt denn auch Pulse, deren Form sich dem Normalen mehr nähert.

Es geht aus allen diesen Kurven offenbar hervor, dafs die Pulsformen im ganzen richtig wiedergegeben werden, dafs die Konstruktion des Apparats aber kein Hervortreten der feineren Einzelheiten gestattet. Jetzt fragt es sich nur, ob wir dennoch nicht aus den Pulsformen Schlüsse in betreff des Tonus der Blutgefäfse

Digitized by Google

ziehen können. Am leichtesten und sichersten werden wir die Beantwortung dieser Frage erhalten, wenn wir die Versuche betrachten, von denen sich auf anderem Wege darthun läfst, dafs die angewandten physischen Reize Veränderungen der Innervation der Gefäfse hervorrufen. Dies gilt z. B. von der Wärme und der Kälte. Tab. VII, D, VIII, A—D, XXXVI, C und XXXVII, A—D zeigen mehrere Versuche dieser Art. Bei aufmerksamer Betrachtung der Kurven entdeckt man nun auch leicht, dafs diejenigen Gefäfskontraktionen, welche durch Kälte oder sehr starke Hitze bewirkt werden, deutliche Spuren in der Pulsform hinterlassen, indem der Dikrotismus sich nach der Basis des Pulses senkt und mehr markiert wird. Anderseits sind die Erschlaffungen der Gefäfse, die als Reaktion auf die Verengungen folgen, ebenso unverkennbar dadurch markiert, dafs der Dikrotismus nach dem Gipfel des Pulses zu ansteigt und mehr verwischt wird. Diese Merkmale sind nun ohne Schwierigkeit in allen denjenigen Fällen wiederzufinden, wo wir bestimmten Grund haben, Gefäfsverengerungen mit hinterherfolgenden Gefäfserschlaffungen zu vermuten, z. B. bei allen starken Unlustgefühlen; die Tabellen XXXI—XXXIV bieten zahlreiche Beispiele hiervon. Ein untrügliches Kennzeichen sind diese Veränderungen der Pulsform jedoch nicht, denn sie erscheinen ebenfalls unter Verhältnissen, wo nicht der geringste Grund zur Annahme vasomotorischer Veränderungen vorliegt, z. B. als einfache Folge des Atmens. Tab. LXV, die uns die Veränderungen des Herzschlages während willkürlich variierter Atemzüge zeigt, bietet auch die erwähnten Veränderungen der Pulsform dar; in den geschwinden Pulsen liegt der Dikrotismus durchweg niedrig und ist stark markiert, in den langsameren Pulsen liegt er hoch und ist verhältnismäfsig verwischt. Und hier haben wir nicht den geringsten Grund, vasomotorische Veränderungen anzunehmen, da diese wohl kaum so schnell verlaufen können. Die Veränderung der Pulsform ist also ebenfalls eine zweideutige Erscheinung; sie kann zweifelsohne von Veränderungen des Tonus der Gefäfse herrühren, kann aber wahrscheinlich auch aus andern Ursachen entstehen. Aus dieser läfst sich also nichts schliefsen.

Digitized by Google

Um eine wirklich zuverlässige physiologische Deutung der Kurven zu erzielen, mufs man also vor allen Dingen die Mittel zu finden suchen, wodurch die stattgefundenen Veränderungen der Innervation der Gefäfse festgestellt werden können. Einen Weg, auf welchem dieses sich erreichen läfst, hoffe ich im folgenden Teile dieser Arbeit nachweisen zu können.

SCHLUSS.

Welche Einwürfe sich auch gegen die im Vorhergehenden aufgestellten Resultate möchten erheben lassen, so wird doch gewifs eines darunter sein, dessen Richtigkeit schwerlich bezweifelt werden kann, nämlich: dafs jeder Bewufstseinszustand unter sonst gleichartigen Umständen von ganz bestimmten, gesetzmäfsigen körperlichen Äufserungen begleitet wird. Diese Thatsache geht so unmittelbar aus den Tafeln hervor, dafs ich jedenfalls nicht einzusehen vermag, wie sie sich wegräsonnieren läfst. Steht dies aber fest, so wird es offenbar von Interesse sein, die zahlreichen, mehr komplizierten Bewufstseinszustände, die Affekte und Stimmungen, die bisher entweder gar nicht oder allenfalls nur sehr oberflächlich behandelt worden sind, einer Untersuchung zu unterwerfen. Dafs auch diese Zustände, trotz ihres grofsen Reichtums an Formen, durchgängige Gesetzmäfsigkeiten zeigen werden, scheint mir nicht zweifelhaft zu sein. Sind alle diese Erscheinungen erst untersucht und ihre charakteristischen Äufserungen festgestellt, so wird man am Plethysmographen ein wirkliches Psychoskop besitzen, einen Apparat, mittels dessen man mit nicht geringer Sicherheit den Gemütszustand einer Person zu diagnostizieren vermag.

Diejenigen Untersuchungen, welche die folgenden Teile dieser Arbeit erörtern sollen, und die in meinem Laboratorium bereits in vollem Gange sind, gehen jedoch nicht in dieser Richtung. Wie oben angedeutet, schien es mir wichtiger, die Erweiterung unseres Erfahrungsgebietes nach andern Seiten zu erstreben, so

dafs sich zuverlässige Schlüsse darüber ziehen liefsen, welche Bedeutung die wahrgenommenen körperlichen Äufserungen für den Organismus, besonders für den Blutzuflufs nach dem Gehirn haben. Es liegt aber wohl kein Grund zu der Vermutung vor, dafs das grofse Interesse, welches die Psychologen in der jüngsten Zeit den plethysmographischen Untersuchungen erwiesen haben, und welches in zahlreichen umfangsreichen Werken Ausschlag gegeben hat, plötzlich aufhören werde. Es steht also zu erwarten, dafs die hier vorliegende Arbeit von andern Forschern fortgesetzt und über Gebiete ausgedehnt werden wird, die ich kaum flüchtig berührt habe. Aus Rücksicht auf diese eventuellen Untersuchungen sei es mir gestattet, einige Bemerkungen mit Bezug auf den Apparat, der hierbei sicherlich eine Hauptrolle spielen wird, den Plethysmographen nämlich, zu machen.

Bekanntlich finden sich mehrere Konstruktionen dieses Apparats, deren jede ihre Vorzüge hat, und unter denen man also wählen kann, je nachdem man das Hauptgewicht auf leichte Handhabung, genaue Registrierung der Volumveränderungen, der Pulshöhen, der Pulsformen u. s. w. legt. Alle diese Vorzüge in einem einzigen Apparate vereint zu sehen, wäre wohl auch nicht unmöglich. Welche Konstruktion man aber auch wählen möge, so sorge man vor allen Dingen dafür, dafs die Pulse in den Plethysmogrammen nicht allzu mikroskopisch werden. Zahlreiche Gesetzmäfsigkeiten, die sich mit Leichtigkeit durch unmittelbare Betrachtung grofser Pulskurven entdecken lassen, sind in den kleinen nur mittels minutiöser Messungen zu gewahren. Ferner ist dafür zu sorgen, dafs der Bau des Apparats kein gar zu komplizierter wird, weil es sonst schwer zu entscheiden ist, was eigentlich registriert wird. Ein Beispiel hiervon sieht man an dem von Shields benutzten Plethysmographen, siehe die oben citierte Abhandlung. In der Hauptsache besteht derselbe aus einer Armröhre, die mit zwei Nebenröhren versehen ist. Die eine der letzteren schreibt die Pulskurve auf gewöhnliche Weise: die andre dient dazu, den Wasserdruck konstant zu erhalten, und zugleich zeichnet sie die Volumveränderungen auf. Diese Kurven zeigen

Digitized by Google

alle beide Niveauveränderungen, die jedoch nicht zusammen gehen. Wahrscheinlich aus diesem Grunde glaubt Shields, die eine Kurve registriere nur die Thätigkeit des Herzens, während die andre die vasomotorischen Veränderungen gebe. Dies ist indes ein völliges Mifsverständnis: dafs die Schwankungen der beiden Kurven nicht zusammengehen, beruht ganz einfach auf einem Fehler des Instruments. Shields sogenannte vasomotorische Kurve wird nämlich von einer komplizierten Vorrichtung gezeichnet, welche die Volumveränderungen erst sehr spät und in vergröfsertem Mafsstabe registriert. Es fällt nicht schwer, dies mit Hilfe meines Plethysmographen nachzumachen. Läfst man nämlich die in die Niveauflasche führende Röhre offen stehen, und bringt man in dem Hals der Flasche eine Röhre an, die mit einem Schreibhebel in Verbindung steht, so hat man in allem Wesentlichen die von Shields benutzte Konstruktion. Der Wasserdruck ist nun annähernd konstant, und man erhält zwei Kurven gezeichnet, deren eine, wie gewöhnlich, den Puls zeigt, während die andre, von der Niveauflasche gezeichnete, nur die Volumveränderungen gibt. Ist die Röhre nach der Niveauflasche nun kurz und weit, so gehen die beiden Kurven fortwährend miteinander. Dies zeigt Tab. LXVIII, B, wo die unterste Linie eine derartige reine Volumkurve ist. Nimmt man aber einen langen und engen Schlauch, so fangen die beiden Kurven an, voneinander abzuweichen, wie Tab. LXVIII, C zeigt. Durch starke Verengerung des Schlauches zwischen der Armröhre und der Niveauflasche kann man es dahin bringen, dafs die beiden Kurven überhaupt gar keine gleichzeitigen Schwankungen darbieten. Es leuchtet indes ein, dafs man nicht im stande ist, durch die Verengerung einer Röhre die vasomotorischen Veränderungen von der Thätigkeit der Herzens zu isolieren. Dafs Shields diese voneinander sondert, beruht deshalb nur darauf, dafs sein Apparat dermafsen kompliziert war, dafs er sich nicht zu erklären vermochte, was denn eigentlich registriert wurde. Dergleichen Apparate sind also mehr dazu geeignet, die Begriffe zu verwirren, als unser Verständnis der Erscheinungen zu fördern.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Digitized by Google

DIE
KÖRPERLICHEN ÄUSSERUNGEN PSYCHISCHER ZUSTÄNDE.

VON

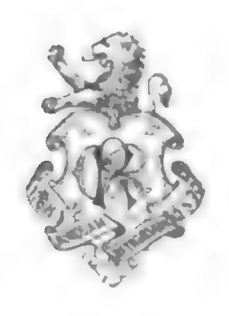
DR. ALFR. LEHMANN,
DIREKTOR DES PSYCHOPHYSISCHEN LABORATORIUMS AN DER UNIVERSITÄT KOPENHAGEN.

ZWEITER TEIL.

DIE PHYSISCHEN ÄQUIVALENTE DER BEWUSSTSEINS-ERSCHEINUNGEN.

MIT 30 IN ZINK GEÄTZTEN TAFELN.

NACH DEM MANUSKRIPTE DES VERFASSERS ÜBERSETZT
VON
F. BENDIXEN.



LEIPZIG,
O. R. REISLAND.
1901.

DIE

PHYSISCHEN ÄQUIVALENTE DER BEWUSSTSEINSERSCHEINUNGEN.

VON

ALFR. LEHMANN.

MIT 30 IN ZINK GEÄTZTEN TAFELN.

LEIPZIG,
O. R. REISLAND.
1901.

VORREDE.

Als Nachwort seines Buches »In Sachen der Psychophysik« schrieb Fechner: »Der babylonische Turm wurde nicht vollendet, weil die Werkleute sich nicht verständigen konnten, wie sie ihn bauen sollten; mein psychophysisches Bauwerk dürfte bestehen bleiben, weil die Werkleute sich nicht verständigen können, wie sie es einreifsen sollen.«

Der Vater der Psychophysik hat recht gehabt.

Sein Werk steht noch. Durch die vielen, teils berechtigten, teils unverständigen Angriffe, die das grofse von ihm aufgetürmte Bauwerk während fast eines halben Jahrhunderts erfahren hat, ist es aber — wie das alte Häuschen in Andersens Märchen — so windschief und elend geworden, dafs es nicht weifs, nach welcher Seite es umstürzen soll, und eben deshalb bleibt es stehen. Auf einer solchen Grundlage kann eine Wissenschaft nicht weiter gebaut werden; der jetzige Stand der Psychophysik zeigt hinlänglich, wie das Fundament ins Schwanken geraten ist. Die experimentelle Forschung hat eine überwältigende Menge Thatsachen beschaffen, es fehlt aber vollständig an festen, einheitlichen Gesichtspunkten, worunter das Erfahrungsmaterial geordnet werden kann. Jeder Forscher legt die Thatsachen in seiner Weise aus; was in der gesamten Psychologie, aufser dem empirisch Gegebenen,

als feststehend, unangreifbar angesehen werden kann, läſst sich aller Wahrscheinlichkeit nach auf vier Oktavseiten schreiben. So kann es aber nicht weitergehen, wenn die Psychologie mit Recht den Namen einer Wissenschaft tragen will.

In dem vorliegenden Werke habe ich es versucht, der Fechnerschen Psychophysik eine Stütze anzusetzen. Dies ist einfach dadurch geschehen, daſs ich der Maſsformel Fechners ein ursprünglich empirisch gefundenes Glied hinzugefügt habe. Dem Anschein nach ist dies etwas recht Unbedeutendes; soweit ich aber bisher die Berechnungen habe durchführen können, zeigt es sich, daſs die korrigierte Maſsformel vor derjenigen Fechners den nicht unwesentlichen Vorzug hat, mit dem experimentell Gefundenen in vollständiger Übereinstimmung zu sein. Wie weit die Übereinstimmung reicht, läſst sich natürlich nicht voraussagen. An einem Punkte, in der physiologischen Farbenlehre, wo ich schon über das in dem vorliegenden Buche Gegebene hinausgegangen bin, hat es sich erwiesen, daſs die Formel in das Chaos der Erscheinungen völlige mathematische Ordnung und Gesetzmäſsigkeit bringt. Und es liegen in dem Buche Thatsachen genug vor, welche darauf deuten, daſs der Formel auch auf andern Gebieten eine weitreichende Bedeutung zukommt. Ist es mir also wirklich geglückt, das psychophysische Fundamentalgesetz zu finden, so wird dies nicht nur für die experimentelle Forschung, sondern auch in theoretischer Beziehung tiefgehende Konsequenzen haben — weil die physisch-physiologische Deutung des Gesetzes mit der Form desselben gegeben ist. Hierzu kommt noch der fernere Nachweis, daſs die bekannten Gesetze der elektrischen Stromverzweigung für die Energietransmissionen im Gehirn und die daran gebundenen psychischen Vorgänge gültig sind. Diese Thatsache — welche die Grundlage einer künftigen Psychodynamik

bilden wird — steht zwar nicht direkt mit dem psychophysischen Fundamentalgesetz in Verbindung, zeugt aber ebenfalls davon, auf welchem Gebiete wir die Gesetze des psychischen Geschehens suchen müssen. Ein kleiner Schritt vorwärts ist damit gethan, um die Psychologie — den Kampfplatz philosophischer Vermutungen und physiologischer Hypothesen — zu einer exakten Naturwissenschaft zu machen.

Jedem Sachverständigen wird es aus dem Buche einleuchten, dafs eine nicht geringe Arbeit darin niedergelegt ist. Wie grofs dieselbe eigentlich gewesen ist, kann doch kaum beurteilt werden, weil selbstverständlich nur diejenigen Berechnungen, die zu brauchbaren Resultaten führten, im Buche gegeben sind, während die zahlreichen vergeblichen Bemühungen, empirische Formeln aufzustellen, viel mehr Zeit in Anspruch genommen haben. Es würde mir deshalb gewifs auch nicht gelungen sein, die Arbeit durchzuführen, wenn die Direktion des Carlsbergfonds mich nicht in die Lage gebracht hätte, während der letzten Jahre meine Zeit ausschliefslich dieser Arbeit widmen zu können. Für diese Freigebigkeit, sowie für die Unterstützung zur Herstellung der Tafeln, statte ich der hochgeehrten Direktion hiermit meinen besten Dank ab.

Kopenhagen, Juni 1901.

Alfr. Lehmann.

Digitized by Google

INHALT.

	Seite
Vorrede	V—VII
Einleitung	1—20
Die kritische Periode der rotierenden Scheiben	20—43
Die kritische Periode und die Unterschiedsempfindlichkeit 20. — Material und Anordnung der Versuche 23. — Die Abhängigkeit der kritischen Periode von der Gradgröfse der Sektoren 30. — Die Abhängigkeit der Periodenkonstante von der Helligkeit der Sektoren 34.	
Die Gesetze des Helligkeitskontrastes	44—52
Die Periodenkonstante und das Unterscheidungsgesetz	53—81
Die Abhängigkeit der Periodenkonstante von dem Kontraste der Sektoren 53. — Das Unterscheidungsgesetz 61. — Prüfung des Unterscheidungsgesetzes mittels der Methode der mittleren Abstufungen 75.	
Rationelle Ableitung des Unterscheidungsgesetzes für Lichtempfindungen	82—99
Die Gemeingültigkeit des Unterscheidungsgesetzes	99—118
Die Gültigkeit des Unterscheidungsgesetzes für Schallempfindungen 99. — Die gleiche Gröfse ebenmerklicher Unterschiede 105.	
Die ergographischen Methoden	118—133
Ergographie mit konstantem und mit variablem Gewichte 118. — Feder-Ergograph für den Druck der Hand 124. — Die Bearbeitung des Materials 129.	
Die Muskelarbeit	134—179
Die Abhängigkeit der Muskelarbeit vom Takte 134. — Die remanente Ermüdung 156. — Das Arbeitsgesetz 161. — Der Einflufs der Übung 176.	
Die physiologische Bedeutung der Mafsformel	179—191
Der Einflufs der Bewufstseinszustände auf die Muskelarbeit	192—237
Psychische Zustände und Thätigkeiten 192. — Der Einflufs der Denkarbeit auf die Muskelarbeit 197. — Verschiedene Versuche einer Erklärung 222.	
Die psychodynamischen Grundthatsachen	237—281
Hydrodynamische Analogien 237. — Dynamische Erklärung der Aufmerksamkeit 255. — Die zeitliche Verschiebung gleichzeitiger Reizungen bei der Aufmerksamkeit 269.	
Die dynamischen Verhältnisse der Gefühle	281—312
Lust und Unlust 281. — Die dynamische Gefühlstheorie 291.	
Schlufs	312—320
Anhang	321—327

Digitized by Google

EINLEITUNG.

Im ersten Teile dieses Werkes wurde nachgewiesen, dafs die vasomotorischen, die verschiedenen psychischen Zustände begleitenden Veränderungen solche Gesetzmäfsigkeit zeigen, dafs wohl kaum die Rede davon sein kann, sie wären nur zufällige Äufserungen der Arbeit des Zentralorgans. Sie müssen mit anderen Worten bestimmte Bedeutung haben, sie müssen zu etwas dienen, das unter gegebenen Umständen nur auf die besondere Weise zu erreichen ist, welche sich in den plethysmographischen Kurven abspiegelt. So könnte man z. B. annehmen, dafs das arbeitende Zentralorgan in jedem einzelnen Falle seine Blutzufuhr seinem Bedarf anpafste, und dafs es diese Regulierung gerade durch seine Einwirkung auf das Herz und die Gefäfsmuskeln vollzöge. Ob diese, oder irgend eine andere Annahme aber richtig ist, das vermochten wir wegen Mangels an hinlänglichem, empirischem Materiale nicht zu entscheiden, da sich aus der Form der Plethysmogramme keine bestimmten Schlüsse darüber ziehen liefsen, welche Veränderungen des Kreislaufs stattgefunden hatten. Ich kündigte deshalb, als Fortsetzung, eine Reihe von Untersuchungen an, die besonders dazu dienen sollten, aufzuklären, wie sich die Blutzufuhr des Gehirns während der verschiedenen psychischen Zustände verändert.

Zur Beantwortung dieser Frage habe ich ein nicht geringes Versuchsmaterial herbeigeschafft, jedoch ist es dieses nicht, was uns hier beschäftigen wird. Aus rein praktischen Gründen habe ich vorgezogen, erst einen anderen, für die Lösung unserer Hauptaufgabe ebenso

wesentliche Bedeutung besitzenden Punkt zu behandeln. Nehmen wir nämlich an, wir wären im Besitz einer Methode, die es gestattete, die Menge und Geschwindigkeit des Blutes, das in einem gegebenen Augenblicke bei einem normalen, unversehrten Menschen nach dem Gehirn fliefst, mit grofser Genauigkeit zu bestimmen. Wir würden alsdann darüber ins reine kommen, welche Veränderungen der Ernährung des Gehirns die verschiedenen psychischen Zustände begleiten. Hiermit würden wir aber offenbar durchaus nicht im stande sein, zu entscheiden, ob diese Ernährungsänderungen auch wirklich für die Arbeit des Gehirns notwendig sind. Weil ein psychischer Zustand A eine n mal so starke Blutzufuhr nach dem Gehirn mit sich bringt als ein anderer psychischer Zustand B, ist damit doch nicht unbedingt gegeben, dafs die stärkere Zufuhr für das Gehirn wirklich notwendig ist. Es liefse sich ja sehr wohl denken, dafs die stärkere Blutzufuhr eine dem Gehirn höchst ungünstige Folge der Störungen des Kreislaufs wäre, die im Organismus hervorgerufen wären und im Dienste ganz anderer Zwecke stünden. Es leuchtet also ein, dafs die Beantwortung der Frage nach der Bedeutung der Kreislaufsänderungen für die Arbeit des Gehirns die Lösung von zwei Problemen erheischt. Wir müssen 1) die Änderungen der Ernährung des Gehirns kennen, welche die verschiedenen psychischen Zustände, A, B u. s. w., begleiten. Und wir müssen 2) für diese psychischen Zustände einen Mafsstab haben. Wir müssen wissen, wieviel der potentiellen Energie des Gehirns während der Erzeugung der Zustände A und B in andere Energieformen umgesetzt wird, oder mit anderen Worten, wir müssen wissen, wieviel es kostet, diese Zustände zu erzeugen. Sind diese Probleme alle beide gelöst, so ist damit die Sache klar. Wissen wir einerseits, dafs die Erzeugung von A einen n mal gröfseren Energieverbrauch erfordert als die Erzeugung von B, und wissen wir anderseits, dafs A ebenfalls eine n mal gröfsere Blutzufuhr nach dem Gehirn bewirkt als B, so wird der Schlufs gewifs berechtigt sein, dafs das Gehirn die Blutzufuhr seinem Bedarf gemäfs reguliert.

Leider dessen sind wir für den Augenblick noch

lange nicht in der Lage, irgend eine dieser Aufgaben mit erwünschter Genauigkeit lösen zu können. Dies ist aber doch kein Grund, weshalb wir mit den Hilfsmitteln, welche die jetzige experimentale Technik uns zur Verfügung stellt, nicht einen Versuch unternehmen sollten. Wird hierdurch weiter nichts gewonnen, so wird doch jedenfalls erreicht, daſs man sieht, wo die Schwierigkeiten liegen, und je gröſser diese sind, um so zahlreicher werden die miſslungenen Anläufe sein, die gewöhnlich erfordert werden, bis die Wissenschaft zu völliger Klarheit gelangt. Zwischen Webers ersten, mangelhaften Versuchen, aus denen die Möglichkeit eines psychophysischen Gesetzes hervorging, und unserer heutigen Einsicht in die Bedeutung und Tragweite dieses Gesetzes liegt eine überwältigende Menge Arbeit, deren kein einziger Teil wohl als durchaus überflüssig zu betrachten wäre. In dem Umstande, daſs es mir ganz sicher nicht beschert ist, die endliche Lösung des schwierigen Problems von der Bedeutung der Störungen des Kreislaufs zu finden, sehe ich deshalb keinen Grund, mich von der Anstellung des Versuches zurückschrecken zu lassen.

Vorliegende Arbeit nimmt das Problem von einem physischen Maſse der Bewuſstseinszustände zur Untersuchung vor. Einige Versuche in dieser Richtung wurden bereits früher unternommen. Der erste rührt von J. Loeb her, der in einer »vorläufigen Mitteilung« über die »Muskelthätigkeit als Maſs psychischer Thätigkeit«[1] nachwies, daſs der Druck, den man mit der Hand auf ein Dynamometer auszuüben vermag, sich bedeutend vermindert, wenn man zugleich eine psychische Arbeit ausführt, z. B. wenn man liest, Rechenaufgaben löst u. dergl. In der genannten Abhandlung kommt Loeb jedoch nicht weiter als bis zum Nachweis dieser Thatsache und verschiedener Schwierigkeiten, die sich einer naheliegenden Erklärung der Erscheinung entgegenstellen; es war mir nicht möglich, eine spätere, eingehendere Behandlung der Sache von der Hand desselben Autors zu finden. Viel weiter gehen Férés

[1] Pflügers Archiv für Physiologie. Bd. XXXIX. 1886.

Digitized by Google

Untersuchungen[1]. Er konstatierte ebenfalls, dafs der auf ein Dynamometer geübte Druck höchst variabel ist und vorzüglich von den gleichzeitigen Bewufstseinszuständen abhängig zu sein scheint, indem derselbe sich sowohl mit deren Qualität als mit deren Intensität verändert. Bei Sinnesreizen bestimmter Art, aber verschiedener Stärke glaubt Féré gefunden zu haben, dafs die Muskelkraft mit der Stärke des Reizes anwächst; jedoch gilt dies nur bis zu einem gewissen Punkte, denn wächst die Empfindung bis zu unangenehmer Stärke, so fällt der Druck bis unter die normale Gröfse. Überhaupt werden Zustände der Unlust die Gröfse des Druckes vermindern, Zustände der Lust dieselbe dagegen vermehren. »Ces faits nous montrent que toute excitation détermine immédiatement une production de force, et on peut en déduire légitimement que les fonctions psycho-physiologiques, comme les forces physiques, se reduisent à un travail mécanique. Nos expériences montrent en somme que dans des circonstances appropriées le dynamomètre peut être appliqué à la mesure des sensations[2].«

Es ist sehr wohl möglich, dafs Férés Untersuchungen mit grofser Sorgfalt und mit all der Genauigkeit, die seine ziemlich unvollkommenen Mefsapparate gestatteten, ausgeführt wurden, seine Arbeit bringt aber keinenfalls diesen Eindruck hervor. Man vermifst erstens eine grofse Menge Voruntersuchungen, die er hätte anstellen sollen, um die Möglichkeit auszuschliefsen, dafs die beobachteten Veränderungen von anderen Ursachen herrühren können. Ermüdung und Übung haben, wie wir wissen, grofsen Einflufs auf die Muskelkraft, und die Gröfse und die Richtung dieser Wirkungen mufs man notwendigerweise kennen, bevor man den Einflufs anderer Faktoren zu bestimmen vermag. Ferner ist es ebenfalls eine bekannte Sache, dafs der Takt, in welchem die Muskelkontraktionen ausgeführt werden, für deren Gröfse von wesentlicher Bedeutung ist; aber auch die Wirkungen des Taktes

---

[1] Féré, Sensation et mouvement. Paris 1887.

[2] Ibid. S. 33.

wurden nicht speziell untersucht. Und da man nun in den Dynamogrammen, mit denen Féré seine Ausführungen illustriert, häufig sieht, daſs sich der Takt verändert, während zugleich die Gröſse des Drucks variiert, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daſs die Druckveränderungen, wenigstens in vielen Fällen, sekundäre Erscheinungen wären, die nur von den Taktveränderungen herrührten. Recht bedenklich ist auch die mathematische Genauigkeit, mit welcher die Druckveränderungen die Variationen der Sinnesreizungen begleiten[1]. Bei psychophysiologischen Versuchen an Menschen gibt es immer ein Gewühl störender Momente, die sich geltend machen, und man darf gewiſs behaupten, daſs einigermaſsen genaue quantitative Bestimmungen nur als Mittel einer sehr groſsen Anzahl von Messungen zu erhalten sind. Bei Féré findet man aber nicht die geringste Andeutung, daſs seine regelmäſsig variierenden Zahlenreihen Mittelzahlen sind. Im Gegenteil scheint aus dem Texte an den citierten Orten hervorzugehen, daſs die Zahlen mittels einer einzelnen Versuchsreihe gewonnen sind. Und wenn man nun sieht, daſs diese Versuche an hypnotisabeln Hysterikern, also an den der Suggestion am meisten zugänglichen Individuen, die zu finden sind, ausgeführt wurden, so entsteht im kritischen Leser eine gewaltige Vermutung, daſs die Wünsche des Experimentators nach regelmäſsigen Zahlenreihen unbewuſst auf die Entstehung dieser Resultate entscheidenden Einfluſs gehabt haben. Sehr viel erfährt man nicht in Férés Buche über seine Versuchsmethode, und das wenige, das durchschimmert, ist der Art, daſs es eher das Vertrauen auf die angeführten Resultate schwächt. Darum können diese natürlich sehr wohl richtig sein, man wagt es aber nicht, sich auf dieselben zu verlassen, ohne sie vorerst einer sorgfältigen Kontrolle zu unterwerfen.

Was ferner die Auslegung der gewonnenen Versuchsresultate betrifft, so verrät diese einen traurigen Mangel an Verständnis von der Schwierigkeit der Sache. Féré glaubt, wie es aus dem oben angeführten Citate

---

[1] Ibid. S. 37 u. 39.

hervorgeht, dafs jede Reizung des Organismus eine Produktion von Kraft bewirke, die sich unmittelbar durch die Gröfse der Muskelkontraktion Ausdruck gebe, und die sich also aus den Dynamogrammen ablesen lasse. Wie er sich den Vorgang dieser Kraftproduktion denkt, darüber sagt er nichts Bestimmtes; im Gegenteil erhält der Leser an verschiedenen Stellen recht verschiedene Äufserungen. So heifst es S. 51: »On peut donc dire, en résumé, que toutes les sensations s'accompagnent d'un développement d'énergie potentielle qui passe à l'état cinétique et se traduit par des manifestations motrices susceptibles d'être mises en évidence même par des procédés grossiers comme la dynamométrie.« Weiter unten auf derselben Seite heifst es aber von denselben Verhältnissen: »On peut donc dire que toute excitation périphérique détermine une augmentation d'énergie potentielle.« Wenn jeder Reiz — oder jede durch einen solchen ausgelöste Empfindung — zur Folge hat, dafs einige potentielle Energie in kinetische übergeht, so scheint die Menge der vorhandenen potentiellen Energie mithin abnehmen zu müssen, und es wird schwer zu verstehen, wie der Verf. 18 Zeilen weiter unten behaupten kann, sie nehme zu. Die Verwirrung wird aber noch gröfser, denn S. 58 liest man: »Les expériences que j'ai rapportées . . . ont pour résultat spécial de montrer que les excitations périphériques déterminent une augmentation de l'énergie disponible, de la force utilisable.« Was hiermit gemeint wird, ist nicht leicht zu verstehen, da der Verf. keine nähere Bestimmung davon gibt, welchen Sinn er diesen Worten beilegt. Versteht man indes unter »disponibler Energie« das nämliche, was in der Physik durch den Begriff der »freien« Energie bezeichnet wird, so gibt der Ausdruck allerdings einen Sinn, führt in diesem Falle aber, wie wir später sehen werden, zu einer Ansicht, die nur sehr geringe Wahrscheinlichkeit für sich hat. Mit Sicherheit läfst sich aus diesen verschiedenen Äufserungen nur schliefsen, dafs Féré nicht im stande ist, eine Erklärung der Sache zu geben.

Es ist nicht einmal möglich, im ganzen Werke darüber ins reine zu kommen, ob Herr Féré sich die

Digitized by Google

erwähnten Energieveränderungen als im Zentralorgan oder in den Muskeln vorgehend gedacht hat. Da es die Sinnesreize — oder die durch dieselben hervorgerufenen psychophysiologischen Vorgänge — sind, die die Energieveränderungen unmittelbar herbeiführen, müfste man sich wohl zunächst denken, dafs diese im Gehirn vorgehen, und dafs sie sich wegen der motorischen Innervationen durch Muskelbewegungen äufsern. An verschiedenen Orten eröffnet der Verf. aber die Aussicht auf eine ganz andere Erklärung[1]. Der Verf. giebt hier aufser den Dynamogrammen zugleich auch Plethysmogramme, welche die Volumänderungen des Arms während derselben Sinnesreize zeigen, und er behauptet nun, die Änderungen der Blutzufuhr seien mit denen der Muskelkraft übereinstimmend (concordantes). Was hiermit gemeint wird, ist nicht gut zu sagen, denn über die Umstände, unter welchen die Plethysmogramme aufgenommen wurden, erfährt man absolut nichts. Die Stärke des Reizes, die Zeitpunkte, da er in Beziehung zur Volumkurve anfängt und aufhört, werden nicht angegeben, ja es wird nicht einmal gesagt, ob das Plethysmogramm und das Dynamogramm gleichzeitig oder jedes für sich genommen wurden. Und da Férés Plethysmogramme, wie alle anderen derartigen Kurven, Steigungen und Senkungen zeigen, läfst es sich unmöglich entscheiden, ob er sich denkt, dafs ein Steigen des Volums einem Steigen der Muskelkraft entspricht, oder ob möglicherweise das Steigen der einen Kurve mit einem Sinken der anderen korrespondiert. Kurz: Férés Darstellung ist zunächst ein Spiel mit physiologischen Redensarten und Abbildungen, das mit der Wissenschaft sehr wenig zu schaffen hat. Findet sich aber wirklich Übereinstimmung des Plethysmogramms mit dem Dynamogramm, so werden wir ganz natürlich zu einer ganz neuen Erklärung der beobachteten Schwankungen der Muskelkraft bewogen. Denn da jeder psychische Zustand von Veränderungen des Blutkreislaufes begleitet ist, so sind die Variationen der Muskelkraft möglicherweise nur Folgen der veränderten Blutzufuhr nach dem Arm. Die Dynamogramme wären in diesem

---

[1] Ibid. S. 10, 40, 41 u. 45.

Digitized by Google

Falle nur eine andere, und zwar unvollkommenere Form der Plethysmogramme, und als Maſs für die Stärke der psychophysiologischen Vorgänge wäre die eine Kurve nicht brauchbarer als die andere. Es leuchtet also ein, daſs ein physischer Maſsstab für die psychischen Zustände auf dem von Féré angedeuteten Wege nicht zu gewinnen ist, es sei denn, daſs es uns gelänge, nachzuweisen, daſs die Schwankungen der Muskelkraft nicht von den Variationen der Blutzufuhr des Arms herrühren können.

Es wird, wie man sieht, eine ziemlich bedeutende Arbeit erforderlich sein, bis man hier zu brauchbaren Resultaten kommen kann. Alle Experimente müssen kontrolliert werden, am liebsten mit weit vollkommneren Meſsapparaten als den früher gebrauchten, und verschiedene Erklärungsmöglichkeiten sind auszuschlieſsen, bevor sich sichere Schlüsse ziehen lassen. Ehe wir aber den Weg einschlagen, der hier durch die Kritik des Féréschen Werkes skizziert wurde, erhebt sich ganz natürlich die Frage, ob es überhaupt denkbar ist, daſs sich ein physisches Maſs für die Bewuſstseinszustände sollte finden lassen. Ein solches Maſs besitzen wir bereits für eine groſse Gruppe psychischer Zustände, nämlich für die durch äuſsere Sinnesreize hervorgerufenen Empfindungen, indem diese durch die Stärke des physischen Reizes gemessen werden können. Zwischen der Empfindung E und dem Reize R besteht ja bekanntlich das durch das Webersche Gesetz ausgedrückte Abhängigkeitsverhältnis:

$$E = c \log. \frac{R}{R_0} \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 1)},$$

wo c eine Konstante und R_0 die gröſste, noch keine Empfindung hervorrufende Reizung (den Schwellenwert) bezeichnen. Jedoch gilt Webers Gesetz auf keinem Sinnesgebiete mit Genauigkeit, kaum einmal mit Annäherung; nirgends findet man E dem log. R genau proportional. Richtiger ist es deshalb

$$E = c \log. \left[\frac{R}{R_0} . \varphi (R)\right] \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 2)}$$

zu setzen, wo φ eine einstweilen unbekannte Funktion ist, deren Form sich wenigstens annähernd be-

Digitized by Google

stimmen läfst. Gleich. 2 gibt uns also, wenn die Konstanten c und R_0 bestimmt sind, ein Mafs für die Empfindungen mit Hilfe der Sinnesreize. Diese Formel kann aber durchaus keine Anwendung auf alle zusammengesetzteren Bewufstseinszustände finden, denen entweder kein äufserer Reiz entspricht, oder bei denen dieser jedenfalls für die Entstehung des Zustandes von untergeordneter Bedeutung ist. Die Frage ist daher die, ob sich ein Mafs finden läfst, das auf alle Bewufstseinszustände angewandt werden kann. Ein solches Mafs kann der Natur der Sache zufolge nur an den zentralen Hirnvorgängen gefunden werden, an welche die psychischen Zustände unmittelbar gebunden sind, denn diese physiologischen Vorgänge sind die einzigen, die jedesmal, wenn ein psychischer Zustand entsteht, mit Notwendigkeit vorausgesetzt werden müssen. Das Problem spaltet sich hier offenbar in zwei Probleme, ein theoretisches und ein praktisches. Ersteres können wir so formulieren: läfst sich die Existenz eines derartigen Abhängigkeitsverhältnisses zwischen den Veränderungen im Zentralorgane und den an dieselben unmittelbar gebundenen Bewufstseinszuständen nachweisen, dafs die physiologischen Vorgänge als Mafs der psychischen Zustände angewandt werden können? Und die mehr praktische Frage wird darauf die: läfst sich auf dem von Féré angedeuteten oder möglicherweise auf einem anderen Wege ein Mafs der physiologischen Vorgänge finden, an welche die psychischen Zustände unmittelbar gebunden sind? Letztere Frage wird uns später beschäftigen; sie hat offenbar kein grofses Interesse, jedenfalls nicht für unsere Untersuchungen, bevor wir darüber ins reine gekommen sind, ob zwischen der Intensität eines psychischen Zustandes und der Stärke der körperlichen Veränderung, an die derselbe gebunden ist, überhaupt ein Abhängigkeitsverhältnis existiert, das sich mathematisch formulieren läfst.

Diese Frage ist in der Psychologie nicht neu; sie wurde zuerst von Fechner gleichzeitig mit der Formulierung des Weberschen Gesetzes erhoben. Der Reiz und die Empfindung sind ja nämlich die beiden äufsersten Glieder einer langen Reihe von Ursachen und Wirkungen, und es ist deswegen durchaus unbestimmt, zwischen

welchen beiden Gliedern der Kausalreihe das logarithmische Abhängigkeitsverhältnis sich in der That geltend macht. Drei wesentlich verschiedene Deutungen, eine physiologische, eine psychophysische und eine rein psychologische, sind hier möglich, und jede dieser Deutungen hat ihre Vertreter gefunden, ohne dafs der Streit zu einem endlichen Resultate geführt hätte. Da es indes, wie nachgewiesen, für unsere weiteren Untersuchungen die wesentliche Bedingung ist, dafs wir hier zu einer bestimmten Entscheidung gelangen, müssen wir die verschiedenen Auffassungen also einer näheren Kritik unterwerfen. Und da es sich darum handelt, zwischen bestimmten Gröfsen ein Abhängigkeitsverhältnis zu finden, wird es am einfachsten sein, dafs wir den Anfang damit machen, die Mafseinheiten zu präzisieren, durch welche diese Gröfsen ausgedrückt werden müssen. Erst wenn wir uns dies klar gemacht haben, wird es möglich sein, die verschiedenen Auffassungen exakt zu formulieren.

Mit Bezug auf die Empfindungen herrscht kein Zweifel. Unter der gegebenen Stärke E einer Empfindung läfst sich überhaupt nichts anderes verstehen, als die Anzahl ebenmerklich verschiedener Empfindungen, die sich zwischen den Grenzen 0 und E unterscheiden lassen. Unter den psychophysischen Mefsmethoden giebt es streng genommen nur eine einzige — die Methode der ebenmerklichen Unterschiede — die direkt darauf abzielt, das Verhältnis zwischen der Stärke der Empfindungen und der der Reize zu bestimmen. Hier ist aber auch deutlich zu ersehen, dafs die Stärke der Empfindung nur die Empfindungs-Anzahl bedeutet. Denn die Messung geht gerade darauf aus, zu bestimmen, einen wie grofsen Zuwachs der Reiz haben mufs, damit noch eine andere Empfindung — derselben Art, jedoch von der vorhergehenden verschieden — entstehen kann.

Dafs die Intensität einer Empfindung E ist, will also weiter nichts heifsen, als dafs zwischen 0 und E eine Anzahl von E möglichen, d. h. ebenmerklich verschiedenen Empfindungen liegen. Webers Gesetz drückt also nur die — allenfalls annähernd richtige — Thatsache aus, dafs die Stärke der Reize mit konstantem Quotienten anwachsen mufs, wenn die Anzahl der mög-

lichen Empfindungen mit konstanter Differenz wachsen soll. Wäre man hierbei stehen geblieben, so hätte man vielen Streit und viele weitläufige Diskussionen vermieden. Allein das Bedürfnis der Anschaulichkeit führte hier die Psychologen auf Irrwege. Man dachte sich die Empfindung als eine extensive Gröfse, z. B. als eine Linie von bestimmter Länge. Die Zahl E wird in diesem Bilde die Anzahl der Längeneinheiten, welche die Linie enthält, und die Längeneinheit selbst repräsentiert wieder den Unterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Empfindungen, mithin den ebenmerklichen Unterschied. Hierdurch entsteht die Fiktion, man habe die Intensität der Empfindung mittels einer psychischen Einheit, nämlich mittels des ebenmerklichen Empfindungsunterschieds gemessen. Dafs dies eine Fiktion ist, erweist sich ganz einfach dadurch, dafs eine Empfindung sich nicht aus einer Anzahl anderer Empfindungen auf dieselbe Weise aufbauen läfst, wie man z. B. eine Linie hervorbringen kann, wenn man eine Anzahl Längeneinheiten in ihrer Verlängerung absetzt. Es ist deshalb zunächst sinnlos zu nennen, wenn man sagt, die Intensität einer Empfindung werde mittels der Zahl E ‹gemessen›, denn es kann hier von einer Messung in gewöhnlichem Sinne gar keine Rede sein, da wir keine Mafseinheit besitzen. Dieser unbestreitbar falsche Sprachgebrauch stiftet jedoch keinen Schaden, wenn man nur die wahre Bedeutung der Zahl E als der Anzahl möglicher Empfindungen zwischen 0 und E festhält.

Brächte das genannte Anschauungsbild nun keine anderen Übelstände mit sich, als einen weniger geeigneten Sprachgebrauch, so läge wohl kaum Grund vor, sich darüber aufzuhalten. Die Anwendung des Bildes ist aber von einem anderen und viel ungünstigeren Umstande begleitet, — man erschleicht nämlich die Lösung eines Problems, das sich in der That nur auf empirischem Wege entscheiden läfst. Es seien E_1, E_2, E_3 und E_4 vier nur intensiv verschiedene Empfindungen, so gewählt, dafs sich zwischen E_1 und E_2 derselbe Unterschied wie zwischen E_3 und E_4 zeigt. Werden nun auch die Differenzen der Zahlen, also $E_1—E_2$ und $E_3—E_4$, gleich grofs sein? Hierüber wissen wir von vornherein offenbar durchaus nichts. Diese Zahlen bezeichnen nur

Digitized by Google

die Anzahl der zwischen 0 und resp. E_1, E_2 u. s. w. möglichen Empfindungen. Weil zwei Empfindungsunterschiede sich als gleich grofs erweisen, ist es aber durchaus nicht gegeben, dafs sie auch dieselbe Anzahl möglicher Empfindungen umfassen. Dies wird der Fall sein, wenn alle eben merklichen Unterschiede gleich grofs sind, hierüber wissen wir aber nichts. Hier mufs nun unser Anschauungsbild der Empfindung als einer extensiven Gröfse ungünstig wirken, indem dasselbe folgerichtig eine bestimmte Lösung des vorliegenden Problems herbeiführt. Indem die Empfindung E nämlich als eine Linie von der Länge E angeschaut wird, werden alle zwischen 0 und E möglichen Empfindungen als Strecken dieser Linie aufgefafst, und jede neue Empfindung ist dann um eine Längeneinheit gröfser als die zunächst vorhergehende. Somit wird also willkürlich festgestellt, dafs alle ebenmerklichen Unterschiede gleich grofs, nämlich gleich der Einheit sind; dies ist aber eine durchaus unzulässige Erschleichung, die allerdings so nahe liegt und so natürlich ist, dafs man erst in der jüngsten Zeit ernstlichen Zweifel an ihrer Berechtigung erhoben hat.

Unsere Untersuchungen sollten nun zweifelsohne damit anfangen, die Lösung der Frage zu suchen: ob ebenmerkliche Unterschiede zwischen Empfindungen derselben Art ebenfalls gleich grofse Empfindungsunterschiede sind; denn die Beantwortung mufs für alle weitere Erforschung des Verhältnisses zwischen Empfindung und Reiz von entscheidender Bedeutung werden. Hier können wir das Problem jedoch nicht erschöpfend behandeln. Wie gesagt läfst es sich nur auf empirischem, auf experimentellem Wege lösen. Bisher liegt nur ein einzelner Beitrag hierzu vor, nämlich Aments: »Über das Verhältnis der ebenmerklichen zu den übermerklichen Unterschieden bei Licht- und Schallintensitäten«[1], und der Verf. kommt hier zu dem Ergebnis, man müsse annehmen, dafs die ebenmerklichen Unterschiede mit den Reizen anwüchsen. Eine kritische Betrachtung der Untersuchung zeigt jedoch, dafs dieses Ergebnis nur erscheint, weil bei der

[1] Wundt, Phil. Stud. Bd. XVI. S. 135 u. f.

Digitized by Google

Berechnung der unmittelbar gewonnenen Versuchsdaten eine Reihe wesentlicher Fehler begangen wurden. Sobald die Fehler korrigiert werden, kommt mit aller wünschenswerten Deutlichkeit das entgegengesetzte Ergebnis zum Vorschein. Es wird indes schwierig sein, in diesem Augenblicke den näheren Nachweis hiervon anzuführen; am rechten Orte wird dieser als natürliches Glied der folgenden Untersuchungen geliefert werden. Ich greife deshalb dem Laufe der Begebenheiten vor und stelle die Behauptung auf:

Es läfst sich als dargethan betrachten, dafs alle ebenmerklichen Unterschiede zwischen Empfindungen in derselben Intensitätsreihe gleich grofs sind, oder mit anderen Worten, dafs gleichgrofse Empfindungsunterschiede dieselbe Anzahl möglicher, d. h. ebenmerklicher Empfindungen umfassen.

Von dieser Voraussetzung gehen wir im Folgenden aus, und der Beweis für unsere Berechtigung hierzu wird später geführt werden[1].

Die Reize werden natürlich mittels ihrer Energie gemessen. Zwei Normalkerzen in gegebener Entfernung entsenden doppelt so viel Licht nach dem Auge als ein einziges Licht in derselben Entfernung; bei den rotierenden Scheiben nimmt die das Auge treffende Lichtmenge um die Gradanzahl des weifsen Sektors zu. Meterkerzen und das Gradmafs der Sektoren sind in der That also Energiemafse. Die Stärke der Schallreize wird stets, wenn es nur irgend thunlich ist, durch das Produkt des Fallgewichts und der Fallhöhe gemessen, dieses Produkt ist aber gerade der Ausdruck für die in Schallschwingungen umgesetzte Bewegungsenergie. Gebraucht man von Wärmereizen ganz einfach Grad *C*, so ist dies ebenfalls ein Energiemafs, indem man innerhalb gewisser Grenzen davon ausgehen darf, dafs ein gegebener, mit einem begrenzten Teile der Hautoberfläche in Berührung gebrachter Körper an die Haut eine Wärmemenge abgeben wird, die der Temperaturdifferenz zwischen der Haut und dem berührenden Körper pro-

[1] Siehe den Abschnitt: Über die Gemeingültigkeit des Unterscheidungsgesetzes.

portional ist. Wenn man endlich als Geschmacksreiz eine konstante Menge einer Auflösung und als Maſs für die Stärke des Reizes den Prozentinhalt des aufgelösten Stoffes gebraucht, so ist auch dies ein Energiemaſs, indem ein bestimmtes Quantum eines chemisch wirksamen Stoffes eine bestimmte Energiemenge repräsentiert. Soweit ich zu sehen vermag, ist der Drucksinn unter unseren Sinnen der einzige, der in dieser Beziehung eine Ausnahme bildet; hier werden die Reize nicht durch irgend ein Energiemaſs, sondern in Kraftmaſs (Gramm) gemessen[1].

Zwischen den Reizen und den Empfindungen liegen die Nervenvorgänge. Die Feststellung einer bestimmten Art des Maſses hat in betreff derselben keine praktische Bedeutung gehabt, da man sich — mit Ausnahme vielleicht eines einzelnen, sehr mangelhaften Versuches — noch nie darauf eingelassen hat, sie zu messen. Dies überhebt uns aber nicht einer bestimmten Wahl, wenn wir mittels einer theoretischen Untersuchung die möglichen Relationen zwischen der Stärke des Reizes und der des Nervenvorgangs festzustellen wünschen. Welche Art des Maſses zu wählen ist, scheint mir keinem Zweifel zu unterliegen. Denn da die Nervenvorgänge physische Erscheinungen sind, die mit anderen physischen Erscheinungen (den Reizen) in Beziehung gebracht werden sollen, müssen beide Gröſsen durch dasselbe Maſs ausgedrückt werden. An diesem Punkte ist der menschliche Organismus wie jede andere Maschine zu betrachten und zu behandeln. Wird der Maschine ein gewisses Quantum Arbeit zugeführt, so ist es die Aufgabe, zu untersuchen, was innerhalb der Maschine aus dieser Arbeit wird, und alle hier stattfindenden Umbildungen lassen sich nur als Arbeit messen. Messen wir also die Reize der Sinnesorgane als Arbeit (Energie), so müssen die aus denselben resultierenden Nervenvorgänge ebenfalls als Energie gemessen werden[2].

---

[1] M. v. Frey, Untersuchungen über die Sinnesfunktionen. Leipzig 1896.

[2] Dies thut denn auch Fechner (Elemente II, S. 163 u. f.); nur unter bestimmten theoretischen Voraussetzungen — um die psychophysische Maſsformel auch auf oszillatorische Bewegungen anwenden zu können — wirft er den Zweifel auf, ob die Empfindung von der

Digitized by Google

Es ist nicht viel, was wir von den psychophysischen Vorgängen, den Energieumsätzen im Zentralorgane, wissen, an welche unsere Bewufstseinszustände unmittelbar gebunden sind. Es darf aber wohl als aufser allen Zweifel gestellt betrachtet werden, dafs sie darauf beruhen, dafs ein Teil, *C*, der potentiellen Energie, die in der Form leicht zersetzbarer chemischer Verbindungen im Gehirn deponiert ist, in andere Energieformen, in Wärme, *V*, Elektrizität, *W*, und möglicherweise noch andere, unbekannte, Formen, *X*, *Y*, *Z* u. s. w., umgesetzt wird. Dem Gesetze der Erhaltung der Energie zufolge sind wir nun zu der Annahme berechtigt, dafs wir überall finden werden:

$$C = V + W + \ldots + X + Y + Z \ldots \quad \text{(Gleich. 3.)}$$

Durchaus unbestreitbar ist dies allerdings nicht, denn da bisher noch kein Mensch die Energieverhältnisse des Gehirns untersucht hat, haben wir keine Garantie, dafs das Energiegesetz auch hier gültig ist. Und kann überhaupt irgendwo die Rede davon sein, Abweichungen von demselben zu finden, so müfste dies auch wohl hier sein, wo das Psychische mit ins Spiel kommt. Indes ist es berechtigt, vorauszusetzen, dafs das Gesetz auch für das Gehirn Gültigkeit besitzt, solange für das Entgegengesetzte keine unanfechtbaren Beweise vorliegen. Wir gehen also davon aus, dafs jeder psychische Zustand unmittelbar an Energietransformationen gebunden ist, die das Energiegesetz befolgen, und für die mithin Gleich. 3 gilt. Ob der psychische Zustand nun an alle diese verschiedenen Energiemengen gebunden ist, oder ob nur einige oder vielleicht nur eine einzelne derselben von Bedeutung ist, das zu entscheiden gebricht es uns für den Augenblick offenbar an jedem Mittel. Hier stehen alle Möglichkeiten offen. Bezeichnen wir durch die *P*-Energie die Energieentwickelung, an die ein psychischer Zustand unmittelbar gebunden ist, so kann man haben:

$$C = \overbrace{V + W + \ldots + X + Y + Z}^{P} \ldots \quad \text{(Gleich. 4),}$$

Geschwindigkeit oder von der Geschwindigkeitsänderung (Acceleration) der Massenteile abhängig sei. (Elemente II, S. 201 u. f.)

Digitized by Google

wo das über der rechten Seite der Gleichung angebrachte P bezeichnen soll, dafs alle diese bekannten und unbekannten Energieformen für die Entstehung des psychischen Zustandes notwendig sind. Man kann aber auch haben:

$$C = P + V + W + \ldots . + X + Y + Z \ldots . \text{(Gleich. 5)},$$

wodurch ausgedrückt wird, dafs man sich den psychischen Zustand an eine einzelne bestimmte Energieform besonderer Art gebunden denken kann. Zwischen den beiden, durch die Gleichungen 4 und 5 ausgedrückten Auffassungen sind, wie leicht zu ersehen, viele verschiedene Übergänge möglich; diese näher zu präzisieren, hat aber für uns keine Bedeutung. Hier kommt es nur darauf an, eine hinlänglich klare Definition des Begriffes der P-Energie zu erhalten, für den wir im Folgenden häufige Anwendung finden werden. Wir verstehen also unter der P-Energie diejenige im Zentralorgane entwickelte Energie, an welche eine psychische Erscheinung unmittelbar gebunden ist, einerlei, ob diese Energie bestimmter, besonderer Art ist (Gleich. 5), oder ob sie möglicherweise eine Summe verschiedener Energieformen ist, deren gegenseitiges Mengeverhältnis variieren kann (Gleich. 4).

Wir sind jetzt im stande, die verschiedenen Deutungen des Weberschen Gesetzes genau zu formulieren. Der physiologischen Auffassung zufolge findet zwischen den physischen Reizen und den Nervenvorgängen, in letzter Instanz also den Veränderungen im Zentralorgane, der P-Energie, das logarithmische Abhängigkeitsverhältnis statt. Man hat dann:

$$P = c_1 \log. \left[\frac{R}{R_0} . \varphi (R) \right] \ldots . . \text{(Gleich. 6.)}$$

Durch Zusammenhalten der Gleich. 6 mit Gleich. 2 ergiebt sich: $E = k . P$, wo k eine Konstante ist. Oder mit anderen Worten: nach der physiologischen Deutung des Weberschen Gesetzes mufs die Intensität des psychischen Zustandes der P-Energie proportional anwachsen. Die psychophysische Theorie dagegen nimmt

Digitized by Google

an, dafs die Energie der Nervenvorgänge der Stärke der Sinnesreize proportional ist, durch die sie hervorgerufen wurden; nach dieser Auffassung hat man also $P = k \cdot R$, was in die Gleich. 2 eingesetzt ergibt:

$$E = c \log. \left[\frac{P}{P_0} \cdot \varphi\left(\frac{P}{k}\right)\right] \ldots\ldots \text{(Gleich. 7).}$$

Hier besteht das logarithmische Abhängigkeitsverhältnis also zwischen der psychischen Erscheinung, der Empfindung E, und dem zentralen Vorgange, an welchen sie gebunden ist. Welche dieser beiden Auffassungen die richtige ist, thut in sofern nichts zur Sache. Selbst wenn es uns nicht zu entscheiden gelingt, ob Gleich. 6 oder Gleich. 7 gültig ist, so wird in beiden Fällen ein physisches Mafs für die Bewufstseinszustände theoretisch möglich. Gilt Gleich. 6, so wird der psychische Zustand der P-Energie direkt proportional sein; gilt dagegen Gleich. 7, so wird das Abhängigkeitsverhältnis also komplizierter; in beiden Fällen läfst sich aber die P-Energie als Mafs der Empfindung E gebrauchen.

Anders verhält es sich mit Wundts psychologischer Deutung des Weberschen Gesetzes[1]. Wundt geht von der Thatsache aus, dafs die verschiedenen Methoden, die sich zur Prüfung der Gültigkeit des Gesetzes anwenden lassen, zu ganz verschiedenen Ergebnissen führen. Mittels einiger Methoden findet man, dafs eine arithmetische Progression der Empfindungen annähernd eine geometrische Progression der Reize erfordert, mittels andrer Methoden ergibt sich dagegen eher eine direkte Proportionalität der beiden Gruppen von Erscheinungen. Die Versuchsbedingungen sind also von wesentlicher Wichtigkeit; welches Ergebnis man erlangt, ist zunächst davon abhängig, unter welchen Verhältnissen unser Unterscheiden stattfindet. Da wir nun thatsächlich nie mit Empfindungen an und für sich, sondern stets nur mit apperzipierten Empfindungen zu schaffen haben, fällt es ganz natürlich, die gröfsere oder geringere Annäherung an das Webersche Gesetz zunächst als einen durch die Apperzeption bedingten Zufall zu betrachten. Zwischen den Empfindungen und

[1] Physiologische Psychologie. I[4], S. 393 u. f.

Digitized by Google

deren äufseren Ursachen besteht wahrscheinlich ein bestimmtes mathematisches Abhängigkeitsverhältnis; wir sind aber nicht im stande, über die Natur dieses Verhältnisses irgend etwas zu entscheiden, da die Apperzeption der Empfindungen alle mathematische Bestimmtheit vereitelt. — Ist diese Auffassung richtig, so sehe ich nicht anders, als dafs wir auf immer darauf verzichten müssen, für unsere Bewufstseinszustände ein physisches Mafs zu finden. Es nützt uns nämlich nicht im geringsten, dafs zwischen E und R wahrscheinlich ein bestimmtes mathematisches Abhängigkeitsverhältnis existiert, denn dieses Verhältnis läfst sich nicht finden, wenn E eine der Beobachtung durchaus unzugängliche Erscheinung ist. Und es gibt kein konstantes Verhältnis der apperzipierten Empfindung, die wir kennen, zum Reize, denn gerade bei der Apperzeption kann die Intensität der Empfindung, allenfalls innerhalb gewisser Grenzen, sich verändern.

Es leuchtet also ein, dafs die Möglichkeit, ein physisches Mafs der Bewufstseinszustände zu finden, mit derjenigen Deutung des Weberschen Gesetzes steht und fällt, welche sich als die rechte erweist. Wir müssen deshalb vorerst die Beantwortung dieser Frage finden. Und das Resultat, zu dem wir gelangen werden, sollte gern so gut begründet sein, dafs an seiner Richtigkeit überhaupt kein Zweifel entstehen kann. Denn alle weiteren Bestrebungen, ein physisches Mafs der Bewufstseinszustände zu finden, werden offenbar völlig absurd, wenn man nicht vorher die Gewifsheit erlangt hat, dafs ein solches Mafs überhaupt möglich ist. Wir können uns deshalb nicht damit begnügen, die verschiedenen Deutungen des Weberschen Gesetzes einer kritischen Behandlung zu unterwerfen; logische Räsonnements und apriorische Argumente können hier schon gut sein, auf diesem Wege gelingt es — glücklicherweise[1] — aber nur selten, andere als diejenigen zu

[1] Ich sage ausdrücklich »glücklicherweise«, denn gelänge es wirklich, jemand zu überzeugen, so sähe es wahrlich um die Wissenschaft übel aus. Ein gutes Beispiel in dieser Richtung hat man an Meinongs: »Über die Bedeutung des Weberschen Gesetzes.« (Zeitschr. für Psychol. u. Phys. Bd. XI.) Aus einigen zweckdienlich gewählten Definitionen und Symbolen schliefst der Verf.: »es liegt nahe genug,

Digitized by Google

überzeugen, welche schon vorher derselben Meinung sind. Wir haben hier mit anderen Worten eine Realitätsfrage vor uns, die sich mit Sicherheit erst beantworten läſst, wenn das erforderliche empirische Material vorliegt. Dies ist aber augenscheinlich noch nicht der Fall, da die zahlreichen Diskussionen über das Webersche Gesetz bisher noch zu keinem endlichen Resultate geführt haben.

Der Weg, den wir hier einschlagen, ist nicht schwer anzugeben. Vor allen Dingen müssen wir die genaue Form des Weberschen Gesetzes kennen, den mathematischen Ausdruck, der wirklich alle vorliegenden genauen Bestimmungen der Unterschiedsempfindlichkeit auf den verschiedenen Sinnesgebieten umfaſst. Darauf ist zu untersuchen, ob diese Formel sich nicht aus bekannten physischen und physiologischen Gesetzen ableiten läſst, was zu einer bestimmten Auffassung davon führen kann, welche Kräfte die durch das korrigierte Webersche Gesetz ausgedrückte Gesetzmäſsigkeit bewirken. Hierdurch wird dann in der That entschieden sein, welche der verschiedenen möglichen Deutungen die rechte ist.

Wenn ich glaube, im Folgenden einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Beantwortung der gestellten Frage leisten zu können, so beruht das zunächst auf einem Zufall. Auf einem weiten Umwege, durch die Messung der kritischen Periode der rotierenden Scheiben, gelangte ich zu einer Formel für die Unterschieds-

daraufhin auch Proportionalität zwischen Reizen und Empfindungen zu vermuten . . .« (cit. Werk. S. 363). Mit dieser apriorischen »Vermutung« ist die Sache abgethan; aus derselben im Verein mit den bereits festgestellten Definitionen folgt nun ganz einfach: »daſs Deutungen des Weberschen Gesetzes in der Zukunft überhaupt entbehrlich werden.« (S. 402.) Das werden sie ganz sicher; nur erübrigt noch ein kleiner Schritt — wie es mir wenigstens vorkommt. Möglicherweise wird der geehrte Verfasser denn auch zugeben, daſs in der Wissenschaft zwischen »vermuten« und »darthun« doch ein kleiner Unterschied ist. Es bleibt den Empirikern also noch die Aufgabe zurück, darzuthun, daſs die »Vermutungen« des Philosophen richtig waren. Gesetzt nun aber, sie erwiesen sich als falsch? Dann wäre es wohl eigentlich ganz glücklich, wenn es dem Philosophen nicht gelänge, jemand zu überzeugen, da dies den Fortschritten der Wissenschaft nur hinderlich sein würde.

empfindlichkeit, die nicht nur mit den vorliegenden Messungen auf dem Gebiete des Lichtsinnes in Übereinstimmung zu sein schien, sondern sich leicht auch so erweitern liefs, dafs sie auf anderen Sinnesgebieten Gültigkeit erhielt. Und als ich hierauf — ebenfalls ganz zufällig — fand, dafs dasselbe Gesetz an einem ganz anderen Punkte, nämlich für die Abhängigkeit der Muskelarbeit von den zentralen Innervationen, gültig ist, glaubte ich ein physiologisch-dynamisches Fundamentalgesetz vor mir zu haben, das über zahlreiche psychophysische Probleme ein unerwartet klares Licht verbreitete. Diese verschiedenen Untersuchungen werden im Folgenden auseinandergesetzt werden. Sie bilden allerdings eine lange Einleitung zum Probleme von einem physischen Mafse der Bewufstseinszustände, da dieses aber die Lösung der anderen Probleme voraussetzt, läfst dies sich nicht ändern.

DIE KRITISCHE PERIODE DER ROTIERENDEN SCHEIBEN.

Die kritische Periode und die Unterschiedsempfindlichkeit. Läfst man eine Scheibe mit abwechselnd schwarzen und weifsen Sektoren mit zunehmender Geschwindigkeit um eine Achse durch ihr Zentrum rotieren, so werden die schwarzen Sektoren scheinbar immer schmäler, indem sich das Licht von den weifsen über dieselben verbreitet. Bei einer gewissen Geschwindigkeit erhält sich nur ein ganz schmaler, schwarzer Streifen an der Grenze zwischen den Sektoren, und nimmt die Geschwindigkeit noch ferner zu, so verbreitet das Licht sich auch über die schmalen Streifen, so dafs diese allmählich immer heller werden. Zuletzt zeigen die dunklen Sektoren sich nur als ein schwacher Flimmer auf einem sonst einfarbigen, helleren Grunde, und indem der Flimmer bei immer zunehmender Rotationsgeschwindigkeit immer heller wird, läfst er sich zuletzt nicht mehr vom Grunde unterscheiden,

Digitized by Google

so dafs die Scheibe sich nun völlig einfarbig zeigt. Diejenige Zeit, während welcher ein Punkt der Scheibe in dem Augenblicke, da der letzte Flimmer verschwindet, eine Winkelbewegung von gerade 360° ausführt, hat man die kritische Periode der Scheibe genannt. Aus der Weise, wie die Scheibe sich bei zunehmender Rotationsgeschwindigkeit der Einfarbigkeit nähert, sieht man leicht, dafs die kritische Periode von der Unterschiedsempfindlichkeit des beobachtenden Auges abhängig ist. Unter ganz unveränderten physischen Verhältnissen wird ein schärferes Auge den schwachen Flimmer länger zu verfolgen vermögen als ein weniger scharfes Auge, und folglich mufs die kritische Periode in ersterem Falle kürzer werden (da gröfsere Rotationsgeschwindigkeit erfordert wird) als in letzterem. Die kritische Periode mufs also, unter vielem anderen, auch von der Unterschiedsempfindlichkeit des Beobachters abhängig sein.

Die Messung der kritischen Periode der rotierenden Scheibe bereitet keine besondere Schwierigkeit; sie erfordert nur einen geübten Beobachter und die notwendigen genauen Instrumente. Zugleich ist man im stande, in sehr grofsem Umfange die Helligkeit der Sektoren zu variieren, indem man schwarze, weifse und verschiedene graue Sektoren benutzen und die Scheiben bei verschiedener Beleuchtung betrachten kann. Es läfst sich also ohne Schwierigkeit ein so grofses Versuchsmaterial herbeischaffen, dafs man im stande ist, eine mathematische Formel für die Abhängigkeit der kritischen Periode von der Gröfse und der Art der Sektoren aufzustellen. Hat man eine solche genaue Formel gefunden, so mufs man aus dieser einen Ausdruck für die kritische Periode ableiten können, unter der Voraussetzung, dafs die rotierenden Sektoren anfangs nur einen ebenmerklichen Unterschied zeigten. Die auf diese Weise abgeleitete Formel wird, da die kritische Periode sich auch für diese Fälle messen läfst, als einzige Unbekannte die Unterschiedsempfindlichkeit enthalten; sie wird mit anderen Worten der bisher vergeblich gesuchte genaue Ausdruck des Weberschen Gesetzes.

In einer früheren Abhandlung: (Skelneloven. En Korrektion af Webers Lov og den Ebbinghaus'ske

Digitized by Google

Kontrastlov« (Das Unterscheidungsgesetz. Eine Berichtigung des Weberschen Gesetzes und des Ebbinghausschen Kontrastgesetzes)[1] veröffentlichte ich eine Reihe derartiger Untersuchungen. In dieser 12 Jahre alten Arbeit wies ich nicht nur alle diejenigen Gesetzmäfsigkeiten nach, die Marbe viel später, aber von mir unabhängig, fand[2], sondern ich erzielte auch die mathematische Formel für die Abhängigkeit der Periode von der Gröfse der Sektoren und eine entsprechende, jedoch unvollständige Formel für die Abhängigkeit der Periode von der Helligkeit der Sektoren. Aus letzterer Formel leitete ich ferner, auf oben angedeutete Weise, einen Ausdruck für das Webersche Gesetz ab, der mit grofser Annäherung die auf verschiedenen Gebieten gemessenen Werte der Unterschiedsempfindlichkeit umfafst. Dafs ich bisher keine Sorge dafür getragen habe, diese Arbeit einem weiteren Kreise als dem von der dänischen Sprache begrenzten zugänglich zu machen, hat seinen Grund ausschliefslich darin, dafs meine Formeln unvollständig waren und mich nicht befriedigten. Da die Sache jetzt aber, aus den in der Einleitung entwickelten Gründen, für mich sozusagen aktuelles Interesse erhielt, nahm ich diese alten Untersuchungen wieder auf. Alle Messungen wurden durch sorgfältigere Versuche kontrolliert, und letztere wurden aufserdem in gröfserem Umfange variiert, so dafs es mir möglich war, die vollständigen, bisher von mir vermifsten Formeln aufzustellen. Die folgende Darstellung wird daher keineswegs nur ein Wiederabdruck meiner früheren Arbeit, deren Existenz indes eine wesentliche Bedingung war, damit es mir überhaupt gelingen konnte, diese Untersuchungen bis zu einem relativen Abschlusse durchzuführen. Hier werden diese Versuche und deren Resultate nun in möglichster Kürze auseinandergesetzt werden.

---

[1] Schriften der Kgl. Dänischen Akademie der Wissenschaften. 6. Reihe, hist.-phil. Abt. II, 6. Köbenhavn. 1889.

[2] Marbe, Zur Lehre v. d. Gesichtsempfindungen. Phil. Stud. IX. Leipzig 1894. Theorie des Talbotschen Gesetzes. Phil. Stud. XII. Leipzig 1896. Neue Versuche über intermittierende Gesichtsreize. Phil. Stud. XIII. Leipzig 1898.

Material und Anordnung der Versuche. Zur Darstellung der rotierenden Scheiben benutzte ich die Heringschen grauen Papiere des Mechanikers Rothe in Leipzig. Ich zog es indes vor, statt des schwarzen zu dieser Reihe gehörenden Zeugpapiers ein mit Neutralschwarz bestrichenes Papier anzuwenden, da die Anwendung eines bestimmten Farbstoffes mir gröſsere Garantie zu bieten schien, daſs dieselbe Nüance des Schwarz sich fortwährend herstellen lieſse. Als Weiſs wurde reines Zinkweiſs angewandt. Da die grauen Papiere übrigens gar zu wenige Schattierungen des Hellgrau enthielten, stellte ich die erforderlichen Zwischenglieder durch Bemalung mit Mischungen von Zinkweiſs und Neutralschwarz dar[1]. Auf diese Weise verschaffte ich mir eine Reihe von 39 verschiedenen Papieren, die einen ziemlich sanften Übergang aus Schwarz in Weiſs bildeten. Die relative Helligkeit dieser 39 Papiere wurde auf gewöhnliche Weise möglichst genau bestimmt. Hierauf wurden 7 derselben so gewählt, daſs die Helligkeit eines jeden möglichst nahe das Doppelte der Helligkeit des zunächst vorangehenden dunkleren Papiers betrug. In der Tab. 1, deren erste Kolonne die Laufnummer der Papiere, die zweite unter der Überschrift *L* die gemessenen Helligkeiten angibt, sind die

---

[1] Wenn man quantitativ verfährt, hat man die Sicherheit, stets dieselben Schattierungen wieder darstellen zu können. Ich wäge 20 gr Zinkweiſs ab und reibe dieses auf einem Stein mit 21 ccm einer 15%haltigen Lösung reinen Fischleims bis zu einer ganz gleichförmigen Masse. Dann werden verschiedene abgewägte Mengen Neutralschwarz zugesetzt. Schon 1 mgr bringt merkbare Verdunkelung hervor. Eine Reihe eben merklich verschiedener Schattierungen kann man darstellen, wenn man 1, 2, 5, 9, 14, 20, 27, 35, 44, 54, 65 u. s. w. mgr Neutralschwarz als Zusatz zu 20 gr Zinkweiſs nimmt. Die Wahl des Papiers hat jedoch groſsen Einfluſs; ich gebrauchte starkes, glattes Papier (dänisches Normal No. 424). Die Farbe wird mit Pinseln aus Iltishaaren in langen regelmäſsigen Strichen aufs Papier gebracht; dieses liegt ein paar Minuten zum Trocknen, worauf es noch einmal senkrecht zur vorigen Strichrichtung bestrichen wird. Mit demselben Pinsel, der zum Anstreichen gebraucht wurde, glättet man nach. Auf diese Weise erhält man eine matte, völlig ebene und gleichfarbige Fläche; da der Leim sehr zäh ist, haftet die Farbe gut. Die angegebene Stoffmenge genügt zum Anstreichen von 2000 cm^2 Fläche, von einem Bogen in Medianformat. Die Farbentöne stimmen mit denen der Heringschen Papiere gut überein.

7 erwähnten Papiere durch einen Stern hervorgehoben. Endlich wurden 5 andere Schattierungen etwas dunkler als die erstgenannten, diesen jedoch möglichst nahe liegend, gewählt; nur für das reine Weifs wurde eine Reihe von 4 naheliegenden Schattierungen genommen. Im ganzen wurden bei den Versuchen, aufser Schwarz und Weifs, also 14 verschiedene Schattierungen des Grau benutzt. Überdies wurde ein lichtloser, auf die von Kirchmann beschriebene Weise hergestellter Raum benutzt[1].

Tab. 1.

No.	*L*	Helligkeit		
		2 Lampen in		kl. Lampe
		31,6 cm	316 cm	in 316 cm
39	* 57,55	1 841 600	18 416	184
38	56,06	1 793 920	17 939	
37	51,74	1 655 680	16 557	166
36	46,63	1 492 160	14 922	149
34	42,47	1 359 040	13 590	136
31	* 30,84	986 880	9 869	99
30	29,27		9 366	
25	* 18,75	600 000	6 000	60
24	16,86		5 395	
20	* 9,80	313 600	3 136	31
19	9,48		3 034	
15	* 4,77	152 640	1 526	15
14	4,46		1 427	
6	* 2,88	92 160	922	9
3	1,62		518	
1	* 1,00	32 000	320	3

Um die Versuche in möglichst grofsem Umfange variieren zu können, wurden sie bei verschiedener Beleuchtung ausgeführt. Hierzu wurden zwei Petroleumlampen mit Sonnenbrennern angewandt, die zur Flammenhöhe 5 cm reguliert wurden; ihre gesamte Lichtstärke war dann die von 32 engl. Normalkerzen. Zu sehr schwacher Beleuchtung wurde eine kleine Petroleumlampe mit fadenförmigem Docht benutzt, deren Flammenhöhe sich merkwürdig konstant erhielt; sie wurde auf

[1] Phil. Stud. Bd. V. S. 294.

Digitized by Google

eine Lichtstärke von 0,32 Normalkerzen reguliert, also gerade auf $^1/_{100}$ der Lichtstärke, welche die beiden grofsen Lampen zusammen abgaben. Um nun die bei verschiedener Beleuchtung unternommenen Messungen miteinander vergleichen zu können, wird es am besten sein, alle angewandten Helligkeiten durch eine gemeinsame Einheit auszudrücken. Zur Einheit wählte ich die Helligkeit eines Stückchens neutralschwarzen Papiers, von einer einzigen Normalkerze in einer Entfernung von 10 m beleuchtet. Denkt man sich diese Normalkerze in die Entfernung von 31,6 cm vom Papier versetzt, so wird dessen Helligkeit also $\frac{1000^2}{31{,}6^2} = 1000$ mal so grofs, und bringt man in der genannten Entfernung die beiden grofsen Petroleumlampen an, so wird folglich die Helligkeit des schwarzen Papiers 32 000. Multipliziert man also die in der Tab. 1 angegebenen relativen Helligkeiten *(L)* mit 32 000, so erhält man die Helligkeit der betreffenden Papiere bei der angegebenen Beleuchtung; diese Zahlen sind in der dritten Kolonne der Tab. 1 angeführt. Werden die Lampen nun bis zu einer Entfernung von 316 cm vom Papier gestellt, so wird dessen Helligkeit um 100 mal geringer als vorher; die Helligkeit der verschiedenen Papiere erhält man einfach durch Division der vorhergehenden Zahlen mit 100, und diese Zahlen sind in der nächstletzten Kolonne der Tab. 1 angegeben. Nimmt man endlich die kleine Lampe statt der beiden grofsen, so verringert man wieder die Beleuchtung und somit die Helligkeiten bis auf $^1/_{100}$ der vorigen; die korrespondierenden Zahlen sind in der letzten Kolonne der Tab. 1 angegeben, wo übrigens, wie ebenfalls in den anderen Kolonnen, nur diejenigen Helligkeiten angeführt sind, die thatsächlich zur Anwendung kamen. Wie aus der Tabelle zu ersehen, gelang es mir durch diese Kombination verschiedener Beleuchtungen und farbiger Papiere eine Reihe von Helligkeiten zur Verfügung zu bekommen, in der sich nirgends grofse Sprünge finden, und deren äufserste Glieder sich zu einander verhalten wie 3 zu ungefähr 2 Millionen. Der Reizumfang ist somit über 600 000.

Da die Messungen innerhalb dieses ganzen Gebietes angestellt werden sollten, liefs sich voraussehen, dafs

Digitized by Google

die kritische Periode sehr verschiedene Werte erhalten würde. Es kam daher darauf an, zum Hervorbringen der Rotation der Scheiben einen Motor zu finden, dessen Geschwindigkeit sich einerseits innerhalb sehr weiter Grenzen einigermafsen leicht variieren liefs, und der sich anderseits, wenn er erst einmal eingestellt war, längere Zeit hindurch konstant erhielt. Nach vielen vergeblichen Versuchen, die Erfüllung beider dieser Forderungen durch Maschinenkraft zu erzielen, kam ich zu dem Resultate, dafs der am leichtesten anwendbare, sicherste und zuverlässigste Motor meine eigene Hand sei. Da eine Darstellung der verschiedenen mifslungenen Versuche mit Wassermotoren und Uhrwerken wohl kein Interesse darbietet, beschränke ich mich darauf, die Anordnung zu beschreiben, bei welcher ich schliefslich blieb.

Der Rotationsapparat wurde mittels einer Kurbel in Bewegung gesetzt, und von dieser wurde die Bewegung ausschliefslich durch Zahnräder auf die Achse übertragen, welche die Scheiben trug. Die Zahnradverbindung war so eingerichtet, dafs eine Umdrehung der Kurbel 30 Umdrehungen der Scheibenachse bewirkte. Um eine gleichmäfsige Bewegung zu sichern, war an der Scheibenachse ein schweres Schwungrad, 31 cm im Durchmesser, angebracht; der Radkranz war durch vier äufserst dünne, schwarz angelaufene stählerne Stangen mit der Nabe verbunden. Diese wurden während der Rotation durchaus unsichtbar und störten deshalb niemals die Beobachtung; überdies wurden sie gewöhnlich von den Scheiben verdeckt, aber selbst wenn sie, wie in einzelnen Versuchen, unverdeckt an dem lichtlosen Raum vorübergingen, konnte die reflektierte Lichtmenge ganz unbeachtet bleiben, weil sie gar zu gering war, um gemessen werden zu können. Bei den gröfsten Umdrehungsgeschwindigkeiten war dieses Schwungrad übrigens überflüssig, weshalb es durch einen kleinen Windflügel ersetzt wurde, den die Scheiben ganz verdeckten, und der also auch keine Störungen bewirken konnte. Um nun genau messen zu können, wieviel Zeit jede Umdrehung der Kurbel beanspruchte, waren an deren Achse zwei Cylinder fest angebracht, einer aus Ebonit, der andere aus Messing; von letzterem

ging ein schmaler Streifen aus demselben Metall in den Ebonitcylinder hinein, in gleicher Höhe wie dessen Oberfläche. An diese beiden Cylinder drückten zwei Federn an, die mit den Poldrähten einer galvanischen Batterie in Verbindung gesetzt waren; in die Leitung war aufserdem ein Signalhammer eingeschaltet. Dreht man nun die Kurbel um, so wird die Leitung sich in dem Momente schliefsen, in welchem die eine Feder den in den Ebonitcylinder eingeführten Metallstreifen berührt, und der Signalhammer markiert also genau, wann eine Umdrehung der Kurbel oder 30 Umdrehungen der Scheibenachse stattgefunden haben. Zur Messung

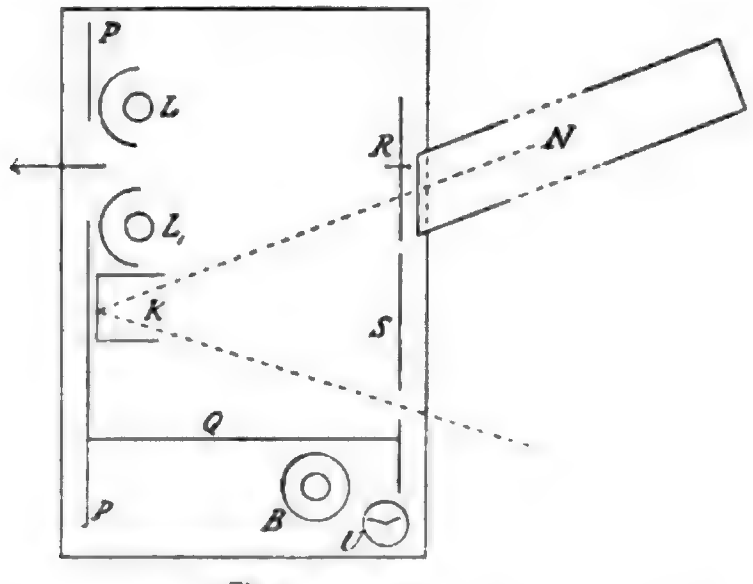


Fig. 1.

der Umdrehungszeit benutzte ich eine für solche Versuche speziell konstruierte Uhr, die das Ablesen der Zeit mit einer Genauigkeit von 0,1 Sek. gestattete; die Uhr war so eingerichtet, dafs sie durch den Druck auf einen Knopf angehalten werden konnte und nach Aufhören des Druckes sogleich wieder in völlig regelmäfsigen Gang kam.

Selbstverständlich wurden alle Versuche im Dunkelzimmer ausgeführt. Auf einem soliden Tische stand hier der Rotationsapparat *R* (siehe Fig. 1) festgeschraubt; diesem gegenüber waren die Lampen *L* und L_1 angebracht. Letztere waren von schwarzen Cylindern umgeben, die nur an der Vorderseite, nach dem Rotationsapparate hin, eine passende Öffnung hatten. Neben den Lampen, 32 cm vom Rotationsapparate ent-

Digitized by Google

fernt, war in der Höhe der rotierenden Scheiben ein innen und aufsen schwarz angestrichener Kasten *K* angebracht, in dessen Boden sich ein mit Silber belegter geschliffener Spiegel befand. Der Beobachter safs so, dafs er durch eine Spalte im Schirme *S* die eine Hälfte der auf *R* angebrachten Scheibe im Spiegel sehen konnte, während er zugleich mit der rechten Hand auf bequeme Weise den Apparat in Gang zu erhalten vermochte. *N* ist der lichtlose Raum, ein fast ein Meter langer, innen schwarz angestrichener Kasten; dieser war, wie die Fig. zeigt, in schräger Stellung so angebracht, dafs der Beobachter im Spiegel nach dem Boden des Kastens hinsah, der von den Lampen fast gar kein Licht erhalten konnte. Die Dunkelheit war so total, dafs eine neutralschwarze Scheibe hellgrau erschien, wenn sie, sogar bei den schwächsten Beleuchtungen, gegen den lichtlosen Raum gesehen wurde. Da der Spiegel in *K* nur von der Scheibe am Rotationsapparate Licht erhielt, sonst aber durchaus nicht beleuchtet wurde, war er auch selbst unsichtbar; wenn man durch die Spalte in *S* blickte, konnte man sich kaum des Gedankens erwehren, man sehe direkt auf den Rotationsapparat hin. Mit Bezug auf die übrigen Anordnungen ist noch zu bemerken, dafs *P* ein Schirm mit einer Öffnung ist, die es gerade gestattet, dafs die Lampen, wenn sie in der Richtung des Pfeils bis zu einer Entfernung von 316 cm verschoben wurden, die Scheibe und weiter nichts zu beleuchten vermochten. *Q* ist ebenfalls ein Schirm, der das Licht der Blendleuchte *B* von den rotierenden Scheiben fernhält. Durch *B* wurde die Uhr *U* beleuchtet, die in solcher Entfernung vom Beobachter stand, dafs er leicht mit der linken Hand die Uhr anhalten konnte, während er durch die Spalte *S* sah und mit der rechten Hand den Rotationsapparat in Gang erhielt. Endlich war mittels verschiedener andrer Schirme dafür gesorgt, dafs das von den Wänden reflektierte Licht ferngehalten wurde, so dafs die Beleuchtung der Scheibe wirklich die aus der Entfernung der Lampen berechnete war.

Bei der Betrachtung der Scheiben im Spiegel geht natürlich ein wenig Licht verloren. Es ist jedoch ganz unnötig, deswegen die in der Tab. 1 angegebenen

Digitized by Google

Zahlen zu korrigieren, da die gewählte Einheit eine ganz willkürliche Gröſse ist. Behalten wir also die Zahlen unverändert, so wird nur die Maſseinheit so geändert, daſs sie die Helligkeit bezeichnet, die ein neutralschwarzes Papier hat, wenn es von einer Normalkerze in der Entfernung von 10 Meter beleuchtet und in einem Spiegel von gegebener Beschaffenheit betrachtet wird.

Die Ausführung der Versuche geht nun in allem Wesentlichen aus dem Gesagten hervor. Die gröſste Schwierigkeit bestand unbedingt darin, die Beleuchtung längere Zeit hindurch konstant zu erhalten. Obgleich eine mit gutem Brenner und wohlabgeputztem Docht versehene Petroleumlampe gewiſs eine der ruhigsten Lichtquellen ist, die man kennt, muſste hier doch noch mehr verlangt werden, weil die zu messenden Erscheinungen eben von der Stärke der Beleuchtung in hohem Grade abhängig sind. Eine ganz geringe Variation der Flammenhöhe genügte, um sofort einen merkbaren Unterschied der Dauer der kritischen Periode zu bewirken. Es war deshalb notwendig, ungefähr jede Viertelstunde die Flammenhöhe zu messen, und wenn diese merkbaren Unterschied zeigte, muſsten die Lampen aufs neue durch Vergleich mit der Normalkerze reguliert werden. War die Beleuchtung in Ordnung, so gingen die Versuche übrigens leicht von statten. Jede Messung begann damit, daſs die Uhr angehalten und der Stand notiert wurde. Darauf wurde das Auge unbeschäftigt gelassen, um sich während einer Zeit, die von wenigen Sekunden bis 10 Minuten variierte, im Dunkel auszuruhen, damit es an die Beleuchtung, in welcher die Messung ausgeführt werden sollte, völlig adaptiert werden konnte. Man sieht leicht, daſs die Adaptation hier von allergröſster Wichtigkeit ist, da es sich darum handelt, bei einer häufig sehr schwachen Beleuchtung zu entscheiden, wann der letzte Flimmer auf der Scheibe verschwindet. Eine mangelhafte Adaptation verrät sich deshalb sogleich durch eine Verlängerung der kritischen Periode, und folglich ist es von Wichtigkeit, daſs alle im folgenden angegebenen Messungen nach äuſsert sorgfältig durchgeführter Adaptation des Auges des Beobachters unternommen wurden. Da die Herstellung

dieser subjektiven Bedingung des genauen Messens eine nicht geringe Geduld erforderte, führte ich persönlich alle Messungen aus, und kann ich also Gewähr dafür leisten, dafs in jeglicher Beziehung alle mögliche Sorgfalt angewandt wurde. — Nach diesen Vorbereitungen wird der Rotationsapparat in Gang gesetzt, und sobald die rechte Geschwindigkeit erreicht ist, wird beim ersten Signal, das den Anfang einer neuen Umdrehung andeutet, das Anhalten der Uhr aufgehoben. Da der einmal in Gang gesetzte Rotationsapparat wegen seines schweren Schwungrads längere Zeit hindurch seine Geschwindigkeit unverändert zu behalten vermochte, hatte der Beobachter weiter nichts zu thun, als sich zu vergewissern, dafs die Geschwindigkeit stets die rechte und weder zu grofs noch zu gering war. Dies liefs sich leicht dadurch erreichen, dafs die Schnelligkeit einen Augenblick gehemmt wurde, so dafs sich auf der Scheibe ein schwacher Flimmer zeigte, worauf die Rotation sogleich wieder beschleunigt wurde, so dafs der Flimmer aufs neue verschwand. Auf diese Weise konnte man sich fortwährend ohne Schwierigkeit eben an der Grenze halten. Um übrigens den Fehler der Messungen möglichst klein zu machen, wurde die Kurbel bei jedem Versuche 5 mal umgedreht, und die abgelesene Zeit war also diejenige, während der die Scheibe $5 \cdot 30 = 150$ Rotationen ausgeführt hatte. Wird die Zeit nun mit der Genauigkeit von 0,1 Sek. abgelesen, so erhält man die einzelne Umdrehung der Scheibe mit der Genauigkeit 0,66 σ bestimmt; bei den meisten Versuchen kam obendrein nur $^1/_8$ der Dauer der einzelnen Scheibenumdrehung in Betracht, so dafs diese Zeit also mit einer Genauigkeit gröfser als 0,1 σ bestimmt ist.

Die Abhängigkeit der kritischen Periode von der Gradgröfse der Sektoren. Bei diesen Untersuchungen hatten die weifsen Sektoren konstant die Helligkeit 18416 (siehe Tab. 1), während die schwarzen Sektoren lichtlos waren. Dies wurde dadurch erzielt, dafs ein oder mehrere Sektoren von bestimmter Gradgröfse aus der Scheibe herausgeschnitten wurden, so dafs man durch diese Ausschnitte in den lichtlosen Raum hineinsah. Natürlich war es nicht thunlich, die Sektoren bis ganz ans Zentrum herauszuschneiden, da dies die

Scheibe so geschwächt haben würde, dafs sie sich während der Rotation nicht hätte plan erhalten können oder vielleicht sogar zerrissen worden wäre; ich wählte deshalb folgendes Verfahren. Die Scheiben hielten sowohl bei diesen als bei allen späteren Versuchen 10 cm im Radius. Um das Zentrum wurde mit einem Radius von 5 cm ein anderer Kreis geschlagen, und bis an diesen Kreis wurden die Sektoren ausgeschnitten. Die lichtlosen Sektoren bildeten auf diese Weise Strecken eines Kreisringes, dessen äufserer und innerer Radius 10 bezw. 5 cm waren. Diese Ordnung erwies sich als recht zweckmäfsig, denn wenn man während der Rotation einen Punkt ungefähr in der Mitte des Ringes fixierte, so verschwand der Flimmer fast zu gleicher Zeit in der ganzen Breite, wodurch bei der Beurteilung des rechten Moments nicht so wenig Unsicherheit vermieden wurde. Dieselbe Form der Scheiben wurde deshalb auch bei allen anderen Versuchen benutzt, wo die schwarzen Sektoren durch gefärbtes Papier vertreten waren, und wo es also nichts geschadet hätte, die Sektoren bis ganz ans Zentrum zu führen.

In der Tab. 2 ist eine Übersicht über die hier angewandten Scheiben gegeben. Unter N ist die Anzahl der Sektoren angeführt; unter s^0 und h^0 die Gradanzahl der schwarzen und der weifsen Sektoren. T ist der durch die Versuche gefundene Wert für die kritische Periode, in Tausendsteln Sekunden (σ) ausgedrückt. Die Tabelle zeigt, dafs die kritische Periode durchweg um so kürzer wird, in je weniger Sektoren die Scheibe geteilt ist. Bei 32 Sektoren z. B. ist $T = 600\,\sigma$, bei 2 Sektoren dagegen nur $42\,\sigma$. Aber auch bei konstanter Anzahl der Sektoren variiert T mit der Gradgröfse der schwarzen und weifsen Sektoren. Am deutlichsten geht dies aus der langen Versuchsreihe hervor, wo die Scheiben in 4 Sektoren von sehr wechselnder Gröfse geteilt waren. Man sieht hier, dafs T seinen kleinsten Wert ($85\,\sigma$) hat, wenn $s = h$ ist, und dafs T sowohl bei wachsenden als abnehmenden Werten von s von hier an zunimmt, am meisten jedoch bei abnehmenden Werten von s. Oder mit anderen Worten: T ist verhältnismäfsig am kleinsten, wenn die weifsen Sektoren am kleinsten sind. Dies ist ganz dasselbe, was Marbe

Tab. 2.

N	s^0	h^0	T	t_s	t_h	$t = \sqrt{t_s \cdot t_h}$
32	11,25	11,25	600	18,7	18,7	18,7
16	22,5	22,5	321	20,1	20,1	20,1
8	45	45	168	21,0	21,0	21,0
8	60	30	178	29,7	14,8	20,9
8	78,75	11,25	189	41,4	5,9	15,6
6	60	60	127	21,2	21,2	21,2
4	10	170	153	4,3	72,2	17,6
4	20	160	124	7,8	54,2	20,5
4	30	150	117	9,7	48,8	21,7
4	45	135	109	13,6	40,9	23,6
4	60	120	99	16,5	31,0	22,6
4	75	105	92	19,1	26,7	22,6
4	90	90	85	21,2	21,2	21,2
4	105	75	87	25,2	18,3	21,5
4	120	60	87	29,0	14,5	20,5
4	135	45	93	34,9	11,6	20,1
4	150	30	98	41,0	8,2	18,4
4	160	20	108	48,0	6,0	17,0
4	170	10	140	66,1	3,9	16,0
2	180	180	42	21,0	21,0	21,0

fand und durch folgenden Satz ausdrückte: »Aus den Tabellen ergibt sich, dafs einer gleichen Dauer der einzelnen Reize die geringste Gesamtdauer entspricht; mit wachsendem Unterschied der Dauer wächst auch die Gesamtdauer. Doch ist eine geringere Gesamtdauer erforderlich, wenn der intensivere Reiz der kürzere von beiden ist, als im umgekehrten Fall[1].«

In den Variationen der kritischen Periode ist es schwer, eine Gesetzmäfsigkeit zu erblicken, die sich mathematisch formulieren liefse. Eine solche tritt dagegen hervor, sobald man untersucht, wieviel Zeit auf die einzelnen Sektoren fällt. Bezeichnet man durch t_s und t_h diejenigen Zeiten, die ein schwarzer und ein weifser Sektor gebrauchen, um einen festen Punkt zu

[1] Phil. Stud. Bd. IX. S. 398.

passieren, wenn die Rotationszeit gerade die kritische Periode ist, so hat man:

$$t_s = \frac{T}{360} \cdot s \; .\,.\,.\,. \text{ (Gleich. 8) und } t_h = \frac{T}{360} \cdot h \; .\,.\,. \text{(Gleich. 9).}$$

Aus den Gleichungen 8 und 9 berechnet man leicht t_s und t_h, indem man die zusammengehörenden Werte von T, s und h einsetzt. Die auf diese Weise berechneten Werte sind in der Tab. 2 angeführt. Es zeigt sich nun, daſs das Produkt $t_s \cdot t_h$ beinahe konstant ist. Da es indes in mehreren Beziehungen bequemer sein wird, statt mit dem Produkte $t_s \cdot t_h$ mit dessen Quadratwurzel zu rechnen, so setzen wir:

$$t = \sqrt{t_s \cdot t_h} = \frac{T}{360} \sqrt{s \cdot h} \; .\,.\,.\,. \text{ (Gleich. 10).}$$

Die Werte von t sind in der letzten Kolonne der Tab. 2 angeführt; man sieht, daſs sie fast konstant sind, unabhängig sowohl von der Anzahl als von der Gradgröſse der Sektoren. Diesen konstanten Wert werden wir im Folgenden die Periodenkonstante nennen. Natürlich variiert t mit der Helligkeit der Sektoren; unsere folgenden Untersuchungen bezwecken gerade, das Gesetz für diese Variationen zu finden. Ist t aber einmal für eine Kombination von zwei beliebigen Helligkeiten gefunden, so läſst sich hieraus die kritische Periode T für alle gegebenen, zusammengehörenden Werte von s und h mittels der Gleich. 10 berechnen. Für $s = h$ nimmt diese Gleichung übrigens die einfache Form an:

$$T = \frac{360}{s} \cdot t = \frac{360}{h} \cdot t = N \cdot t \; .\,.\,.\,. \text{ (Gleich. 11).}$$

Eine nähere Betrachtung der in der Tab. 2 angeführten Werte für t zeigt indes, daſs t nicht durchaus konstant ist, indem die vorkommenden Variationen nicht ausschlieſslich als zufällige Fehler zu betrachten sind. Die längste Versuchsreihe ($N = 4$) zeigt deutlich, daſs die Fehler nach einer gewissen Regel eintreten; t hat hier ein Maximum (23,6) bei $s = 45^{\circ}$, und von hier nehmen die Werte nach beiden Seiten gleichmäſsig ab. Eine ähnliche Variation sieht man schon in der kurzen Versuchsreihe $N = 8$. Hier ist also noch eine Aufgabe für

Digitized by Google

künftige Untersuchungen: das Gesetz für diese Variationen von t zu finden. Wenn ich mich hierauf nicht eingelassen habe, ist dies ausschliefslich dadurch begründet, dafs die Lösung dieses Problems für den Zweck, den ich mir aufgestellt habe, durchaus keine Bedeutung hat. Im Folgenden bekommen wir gar keinen Gebrauch für den Einflufs der Gröfse der Sektoren auf die kritische Periode; uns genügt es also, zu wissen, dafs man letztere annähernd berechnen kann, wenn die Periodenkonstante bekannt ist, und dafs es für die Bestimmung der Konstanten ziemlich gleichgültig ist, welche Gröfse man den Sektoren gibt. Jedoch müssen diese bei allen Versuchen natürlich von gleicher Gröfse sein, da die Periodenkonstante hiervon nicht absolut unabhängig ist.

Die Abhängigkeit der Periodenkonstante von der Helligkeit der Sektoren. Bei diesen Untersuchungen hatten die Scheiben die oben (S. 31) erwähnte Form und Gröfse. Aus praktischen Gründen, damit die gemessenen kritischen Perioden weder zu lang noch zu kurz würden, war jede Scheibe in 8 gleich grofse Sektoren geteilt, deren jeder also 45° betrug. Laut Gleich. 11 findet man in diesem Falle die Periodenkonstante aus der gemessenen kritischen Periode ganz einfach durch Division mit $N = 8$. Auf diesen Scheiben waren die hellen Sektoren, deren Helligkeit im Folgenden als R angegeben wird, in allen Fällen aus den in der Tab. 1 mit * gezeichneten Papieren hergestellt. Dieselben 7 Papiere, aufser dem lichtlosen Raum, wurden in den meisten Fällen auch zu den dunklen Sektoren benutzt, deren Helligkeit wir künftig durch r bezeichnen. Man hat also fortwährend $r < R$. In einzelnen bestimmten Fällen, wo es darauf ankam, zwischen der Helligkeit der dunklen und der der hellen Sektoren einen möglichst geringen Unterschied zu haben, wurden auch die anderen in der Tab. 1 angeführten Papiere in Gebrauch genommen; diese benutzte ich aber stets nur zu den dunkleren Sektoren. Eine Übersicht über sämtliche untersuchte Kombinationen nebst den gefundenen Periodenkonstanten gibt Tab. 3. In der obersten Reihe ist hier die Gröfse R der Helligkeit der hellen Sektoren angeführt, in der ersten Kolonne links die Helligkeit r

Digitized by Google

Tab. 3.

$R =$ / r	1 841 600	986 880	600 000	313 600	152 640	92 160	32 000	18 416	9 869	6 000	3 136	1 526	922	320	184	99	60	31	15
1 793 920	45,0																		
1 655 680	20,6																		
1 492 160	17,0																		
1 359 040	15,3																		
986 880	14,6																		
600 000	13,5																		
313 600	12,8																		
152 640	11,8																		
92 160	11,2																		
32 000	10,9																		
17 939								59,4											
16 557								41,3											
14 922								33,9											
13 590								31,9											
9 869								28,0											
9 366									45,8										
6 000								26,3	31,8										
5 395										43,6									
3 136								23,9	28,3	33,5									
3 034											56,6								
1 526								22,5	25,8	29,8	37,0								
1 427												62,3							
921								22,1	24,6	28,0	33,7	41,8							
518													47,9						
320								21,6	23,3	26,3	29,5	31,3	39,2						
166															∞				
149															61,7				
136															51,6				
99															45,4				
60															41,6				
31															38,7				
15															36,8				
9															36,0				
3															35,1				
0	10,7	12,2	13,0	14,3	15,5	17,4	19,2	21,0	22,4	24,7	27,5	29,3	30,8	32,2	34,3	35,0	36,1	38,2	41,3

Digitized by Google

der dunklen Sektoren. An den Schneidepunkten der wagerechten Reihen und der senkrechten Kolonnen stehen die für diese Kombinationen gefundenen Periodenkonstanten angeführt, wie vorher in Tausendsteln Sekunden ausgedrückt. In der untersten Reihe sind z. B. die Werte angeführt, welche die Periodenkonstante erhält, wenn man als schwarze Sektoren den lichtlosen Raum ($r = 0$) und als helle Sektoren die 19 verschiedenen, hierzu benutzten Helligkeiten (von $R = 15$ bis $R = 1\,841\,600$) gebraucht. Übrigens zerfällt die Tabelle in 3 Gruppen, den drei verschiedenen Beleuchtungen entsprechend, deren Anwendung hier notwendig war, um die ganze Reihe von Helligkeiten hervorzubringen. Bei der stärksten Beleuchtung wurde nur eine einzige Reihe von Versuchen unternommen mit $R = 1\,841\,600$ und mit 10 verschiedenen Werten von r; bei der schwächsten Beleuchtung ebenfalls nur eine einzige Reihe mit $R = 184$ und mit 9 verschiedenen Werten von r. Diese Begrenzung ist ausschliefslich der Rücksicht auf meine Augen zu verdanken. Die schwächste Beleuchtung strengte das Auge entschieden an und erforderte sehr lange Adaptationszeit, so dafs eine Erweiterung der Versuche eine im Verhältnis zur Genauigkeit der Messungen unziemlich lange Zeit gekostet haben würde. Die stärkste Beleuchtung war so kräftig, dafs sie fast blendend wurde, weshalb ich mich auch hier auf die möglichst geringe Anzahl von Messungen beschränkte. Die mittlere Beleuchtung dagegen war, sowohl was Zeit als Anstrengung betrifft, für die Arbeit die angenehmste, und es wird sich später denn auch erweisen, dafs die hier durchgeführten 6 Versuchsreihen unbedingt die genauesten sind.

Wenn wir nun versuchen sollen, für die Abhängigkeit der Periodenkonstanten von R und r ein mathematisch formuliertes Gesetz zu finden, fällt es am natürlichsten, mit dem speziellen Falle zu beginnen, wo $r = 0$ ist, da hier nur eine einzige Variable, R, sein kann und infolgedessen die Verhältnisse am leichtesten überschaulich sind. Es ist denn auch nicht schwer, die Gesetzmäfsigkeit dieser Zahlenreihen zu gewahren. Während nämlich die angewandten Werte von R annähernd als geometrische Reihe anwachsen, in welcher

Digitized by Google

jedes Glied fast doppelt so grofs als das zunächst vorhergehende ist, sieht man, dafs die entsprechenden Werte von t in arithmetrischer Reihe abnehmen, in welcher die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Gliedern so ziemlich 1,5 ist. Da wir im Folgenden fortwährend für diejenigen Werte von t Gebrauch haben werden, welche $r = 0$ entsprechen, wollen wir diese durch τ bezeichnen. Nennen wir nun den Quotienten, mit welchem R wachsen mufs, damit τ um 1σ abnimmt, q, und bezeichnen wir ferner den $R = 1$ entsprechenden Wert von τ durch k, so haben wir folgendes Verhältnis zwischen R und τ:

$$R = 1 \;\ldots\; q \;\ldots\; q^2 \;\ldots\; q^3 \;\ldots\; q^n$$
$$\tau = k \;\ldots\; k-1 \;\ldots\; k-2 \;\ldots\; k-3 \;\ldots\; k-n.$$

Im allgemeinen hat man also: $R = q^n$, wenn $\tau = k - n$ ist.

Wird n aus letzterer Gleichung in erstere eingesetzt, und diese mit Bezug auf τ gelöst, so erhält man:

$$\tau = k - k_1 \log. R \;\ldots\ldots \text{(Gleich. 12)},$$

indem $k_1 = \dfrac{1}{\log. q}$ ist.

Um nun zu prüfen, ob diese Gleichung den gefundenen Werten von τ genau entsprechend sei, bestimmte ich mittels der Methode der kleinsten Quadrate die Werte von k und k_1, durch die in der Tab. 3 angegebenen 19 Werte von τ. Man findet hierdurch $k = 47{,}6$ und $k_1 = 6{,}035$, also:

$$\tau = 47{,}6 - 6{,}035 \log. R \;\ldots\ldots \text{(Gleich. 13)};$$

setzt man in diese Gleichung nach und nach die verschiedenen Werte von R ein, und berechnet man die entsprechenden Gröfsen für τ, so erhält man die in Tab. 4 in der Reihe »τ ber.« angegebenen Zahlen. Diese werden hier mit den in Tab. 3 angegebenen Werten von τ zusammengestellt, und in der dritten Reihe sind die Abweichungen der gefundenen Werte für τ von den berechneten angeführt, indem $f = \tau$ gef. $- \tau$ ber.

(Siehe Tab. 4 S. 38.)

Wie man sieht, erreicht der Fehler nur an ganz einzelnen Stellen $1{,}0\sigma$, und der mittlere Fehler ist $0{,}65\sigma$. Eine so völlige Übereinstimmung der gefundenen Werte von τ mit den berechneten darf sicherlich als Beweis

Digitized by Google

Tab. 4.

R	1 841 600	986 880	600 000	313 600	152 640	92 160	32 000	18 416	9 869	6 000
τ gef.	10,7	12,2	13,0	14,3	15,8	17,4	19,2	21,0	22,4	24,7
τ ber.	9,8	11,4	12,7	14,4	16,3	17,6	20,4	21,9	23,5	24,8
f	+ 0,9	+ 0,8	+ 0,3	— 0,1	— 0,5	— 0,2	— 1,2	— 0,9	— 1,1	— 0,1

R	3136	1526	922	320	184	99	60	31	15
τ gef.	27,5	29,3	30,8	32,2	34,3	35,0	36,1	38,2	41,3
τ ber.	26,5	28,4	29,7	32,5	33,9	35,6	36,9	38,6	40,5
f	+ 1,0	+ 0,9	+ 1,1	— 0,3	+ 0,4	— 0,6	— 0,8	— 0,4	+ 0,8

betrachtet werden, daſs zwischen τ und *R* wirklich das durch Gleich. 12 ausgedrückte logarithmische Abhängigkeitsverhältnis besteht.

Wir schreiten darauf zur Untersuchung, wie *t* mit *r* variiert, wenn *R* konstant ist. Um dies zu bestimmen, besitzen wir 8 Versuchsreihen, unter denen wir vorläufig doch nur die drei ausführlichsten, nämlich *R* = 1 841 600, 18 416 und 184, in Betracht nehmen wollen. Diese drei Zahlen haben den Quotienten 100, und da dasselbe für alle in den drei Reihen benutzten Werte von *r* gilt, entsprechen die gefundenen Zeiten in allen drei Reihen denselben Werten von *R*/*r*. Dies erleichtert die Übersicht. Ebenfalls ist es von Bedeutung, daſs diese drei Versuchsreihen fast gleich viele Werte von *t* (10, 10 und 8) enthalten; bei einer eventuellen Berechnung von Konstanten können wir dann die drei Reihen unter einem nehmen, während wir genötigt geworden wären, den verschiedenen Reihen verschiedenes Gewicht beizulegen, wenn sie eine gar zu verschiedene Anzahl von Versuchen enthalten hätten. Wir haben also Grund genug, vorläufig nur die drei genannten Reihen zu betrachten, die in der Tab. 5 so zusammengestellt sind, daſs sie eine leichte Übersicht gewähren. Die Tabelle zerfällt, den verschiedenen Werten von *R* entsprechend, in drei Abschnitte. In der ersten Kolonne links ist das Verhältnis *R*/*r* angegeben; die verschiedenen Werte dieser Gröſse sind, wie oben gesagt, den

drei Versuchsreihen gemeinschaftlich. In jedem Abschnitte der Tabelle sind die benutzten Gröſsen von r und die gemessenen Werte von t angegeben; darauf wird $t - \tau$ angeführt, indem für τ der durch die Versuche gefundene Wert dieser Gröſse, also für die drei Versuchsreihen 10,7 bezw. 21,0 und 34,3 genommen ist (vgl. Tab. 3).

Wir fanden oben, daſs zwischen τ und R ein logarithmisches Abhängigkeitsverhältnis stattfindet, indem r konstant (= 0) ist; die Annahme liegt deshalb nahe, daſs dasselbe für die Variationen des t mit r gelten wird, wenn R konstant ist. Eine Betrachtung der Tab. 5 zeigt jedoch sogleich, daſs dies nicht der Fall ist. Die niederen Werte von r in jeder Reihe bilden annähernd eine geometrische Progression, die entsprechenden Werte von t aber keineswegs eine arithmetische; man sieht, daſs t um so stärker anwächst, je mehr r sich R nähert. Da sich also keine augenfällige Gesetzmäſsigkeit zeigt, können wir über die Variationen des t mit r eine Kurve zeichnen, um eine Vorstellung davon zu erhalten, mit welcher Funktion wir hier zu schaffen haben. Ob wir hierbei t oder $t - \tau$ zur Ordinate nehmen, ist offenbar gleichgültig, da dies nur auf die Lage der Kurve im Verhältnis zur Abscissenachse, nicht aber auf deren Form Einfluſs erhält. Berechnet man daher die Gröſsen $t - \tau$ (vgl. Tab. 5), so sieht man, daſs diese in den drei verschiedenen Versuchsreihen für denselben Wert von R/r sehr nahe daran sind, gleich groſs zu werden, und es wird folglich das Natürlichste sein, die Gröſse R/r zur Abscisse zu nehmen. Daſs die drei Versuchsreihen indes nicht die nämliche Kurve ergeben, sieht man leicht, wenn man die Zeichnung in hinlänglich groſsem Maſsstabe ausführt. Man erhält drei deutlich gesonderte Kurven, die anscheinend gleichseitige Hyperbeln mit den Koordinatachsen als Asymptoten sind. Der dem Gipfel zunächst liegende Teil dieser drei Kurven ist Pl. I wiedergegeben. Die Abscissen gehen nur bis $R/r = 18$, die Ordinaten bis $t - \tau = 22$, dies ist jedoch genügend, da die weggelassenen Strecken der Kurven fast geradlinig und parallel sind. Einen guten Beweis, daſs die Form der Kurven nichts Individuelles, Zufälliges ist, hat man daran, daſs sowohl Kleiner als Marbe

zu ganz ähnlichen Kurven kamen, die auch nach dem Gutachten der genannten Forscher gleichzeitige Hyperbeln zu sein scheinen[1].

Tab. 5.

$\frac{R}{r}$	$R = 1\,841\,600$				
	r	t	$t-\tau$	C	C_1
1,027	1 793 920	45,0	34,3	35,2	0,9
1,11	1 655 680	20,6	9,9	11,0	1,1
1,23	1 492 160	17,0	6,3	7,8	1,5
1,36	1 359 040	15,3	4,6	6,3	1,7
1,86	986 880	14,6	3,9	7,3	3,4
3,07	600 000	13,5	2,8	8,6	5,8
5,88	313 600	12,8	2,1	12,4	10,2
12,06	152 640	11,8	1,1	13,3	12,2
19,98	92 160	11,2	0,5	10,0	9,5
57,55	32 000	10,9	0,2	11,5	11,3

$\frac{R}{r}$	$R = 18\,416$				
	r	t	$t-\tau$	C	C_1
1,027	17 939	59,4	38,4	39,4	1,0
1,11	16 557	41,3	20,3	22,5	2,2
1,23	14 922	33,9	12,9	15,9	3,0
1,36	13 590	31,9	10,9	14,8	3,9
1,86	9 869	28,0	7,0	13,0	6,0
3,07	6 000	26,3	5,3	16,3	11,0
5,88	3 136	23,9	2,9	17,1	14,2
12,06	1 526	22,5	1,5	18,1	16,6
19,98	922	22,1	1,1	22,0	20,9
57,55	320	21,6	0,6	34,5	33,9

$\frac{R}{r}$	$R = 184$				
	r	t	$t-\tau$	C	C_1
1,027					
1,11	166	∞			
1,23	149	61,7	27,4	33,7	6,3
1,36	136	51,6	17,3	23,5	6,2
1,86	99	45,4	11,1	20,7	9,5
3,07	60	41,6	7,3	22,4	15,1
5,88	31	38,7	4,4	25,9	21,5
12,06	15	36,8	2,5	25,3	27,7
19,98	9	36,0	1,7	34,0	32,3
57,55	3	35,1	0,8	46,1	45,2

[1] Marbe, Neue Versuche über intermittierende Gesichtsreize, Phil. Stud. Bd. XIII S. 107 u. f. Kleiners Arbeit war mir nicht zugänglich; ich kenne sie nur aus Marbes Citaten.

Es läſst sich indes leicht nachweisen, daſs wenigstens meine Kurven keine gleichseitigen Hyperbeln sind, wenn sie sich solchen auch sehr nähern. Für eine gleichseitige Hyperbel mit den Koordinatachsen als Asymptoten ist das Produkt der Abscisse und der Ordinate konstant. Unter genannter Voraussetzung sollte man also finden:

$$(t - \tau)\frac{R}{r} = C \ldots\ldots \text{(Gleich. 14)}.$$

In der Tab. 5 sind die Werte von C für alle drei Versuchsreihen angeführt. Man sieht, daſs C ziemlich stark variiert; in der ersten Reihe schwanken die Zahlen sogar von 6,3 bis 35,2, also bis zum Sechsfachen. Ganz so groſs sind die Schwankungen in den beiden anderen Versuchsreihen nun freilich nicht; daſs die Abweichungen jedoch nicht von einer Ungenauigkeit der Messungen herrühren, geht deutlich daraus hervor, daſs die Werte von C gesetzmäſsig variieren. In allen drei Versuchsreihen hat C ein zwischen $R/r = 1{,}36$ und $R/r = 1{,}86$ gelegenes Minimum, so daſs C von hier sowohl bei zunehmenden als abnehmenden Werten von R/r allmählich anwächst. Eine derartige übereinstimmende Regelmäſsigkeit in drei voneinander unabhängigen Versuchsreihen ist keine Zufälligkeit, und wir dürfen hieraus also schlieſsen, daſs die Pl. I dargestellten Kurven keine gleichseitigen Hyperbeln sind, und daſs Gleich. 14 die Variationen von t mit r nur annähernd richtig ausdrückt.

Eine Diskussion der Gleich. 14 wird uns noch mehr überzeugen, daſs dieselbe nicht richtig sein kann. Tab. 5 zeigt nämlich, daſs t stark anwächst, wenn r sich R nähert. Dies ist ganz in der Ordnung, denn je mehr die verschiedenen Sektoren nahe daran sind, dieselbe Helligkeit zu haben, um so geringer wird die Rotationsgeschwindigkeit sein, bei welcher sie zu einer einzigen Empfindung verschmelzen. Ist $r = R$, so wird die Scheibe ein völlig gleichförmiges Äuſseres darbieten, selbst wenn sie gar nicht rotiert, die Rotationszeit also unendlich wird. Folglich muſs Gleich. 14 für $r = R$ ergeben: $t = \infty$. Dies ist aber nicht der Fall. Löst man die Gleich. 14 mit Bezug auf t, so erhält man:

$$t = \tau + C\frac{r}{R} \ldots\ldots \text{(Gleich. 15)}.$$

Digitized by Google

Wird hier $r = R$ gesetzt, so wird $t = \tau + C$, was falsch ist, da τ eine endliche Gröſse ist, während man haben sollte $t = \infty$. Dagegen bekommt man aus Gleich. 15 für $r = 0$, daſs $t = \tau$ ist, was man auch haben sollte, da τ gerade als der Wert definiert wurde, den t annimmt, wenn $r = 0$ ist. (Vgl. S. 37). Die Absurdität, zu welcher Gleich. 15 führt, läſst sich vermeiden, wenn wir statt R/r die Gröſse $(R/r) - 1$ einführen und die Gleichung so schreiben:

$$(t-\tau)\left(\frac{R}{r}-1\right) = C_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; \text{(Gleich. 16).}$$

Hier wird $t = \tau$ für $r = 0$, und auſserdem wird $t = \infty$ für $r = R$, diese Gleichung wird aber nicht durch die gefundenen Werte von $t - \tau$ befriedigt. In Tab. 5 sind die Produkte C_1 für alle drei Versuchsreihen angeführt; man sieht, daſs C_1 mit dem Verhältnisse R/r regelmäſsig anwächst; C_1 ist also durchaus keine konstante Gröſse. Wir haben mit anderen Worten noch keinen genauen Ausdruck für die Variationen von t mit r; im Folgenden wird es unsere Aufgabe sein, diese Formel zu finden. Daſs es mir, meiner Meinung nach, gelungen ist, die Aufgabe zu lösen, verdanke ich wohl zunächst einem glücklichen Ungefähr. Betrachtet man die in der Tab. 5 angegebenen Werte von C_1, so sieht man, daſs sie mit dem Verhältnisse R/r zunehmen. Multipliziert man also die linke Seite der Gleich. 16 mit einem Bruche, der um so kleiner wird, je gröſser R/r ist, so muſs es gelingen können, das ganze Produkt konstant zu bekommen. Während meiner zahlreichen Bestrebungen, einen solchen Faktor zu finden, erwies es sich, daſs ein Bruch von der Form: $\dfrac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}}$ diese Forderung annähernd erfüllte, so daſs man haben würde:

$$(t-\tau)\left(\frac{R}{r}-1\right)\frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} = C_2,$$

wo β, γ und C_2 Konstanten sind, deren Wert mittels der vorliegenden Messungen zu bestimmen sein wird. Dieser Bruch $\dfrac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}}$ spielt aber in den Gesetzen für den

Helligkeitskontrast eine sehr wichtige Rolle. Es lag also nahe, zu versuchen, ob sich aus den Gesetzen für den Helligkeitskontrast nicht eine Formel für die Variationen von t mit r rationell ableiten liefse. Dies gelang wirklich, wie wir im Folgenden sehen werden.

Vorher kehren wir indes einen Augenblick zur Gleich. 14 zurück. Dafs sie nicht richtig ist und dies nicht sein kann, sahen wir bereits. Wendet man sie dennoch an, so begeht man aber doch wenigstens keinen grofsen Fehler, solange r sich nicht zu sehr dem R nähert, und solange R konstant ist. Aus Tab. 5 sieht man nämlich, dafs C in den drei Versuchsreihen nicht gleich grofs ist; die mittleren Werte von C in den drei Reihen sind 12,3, resp. 21,4 und 29,0. C ist also zweifelsohne eine Funktion von R, und folglich begeht man einen neuen Fehler, wenn man C als konstant und als von R unabhängig betrachtet. In meiner ersten Arbeit über diesen Stoff waren meine Messungen weder zahlreich noch genau genug, um zu zeigen, dafs die Gleich. 14 nicht befriedigt. Ich mufste sie deshalb als den richtigen Ausdruck für t betrachten, und indem die Gleichung mit Bezug auf t gelöst wird und man aus Gleich. 12 den Ausdruck für τ einsetzt, erhält man:

$$t = k - k_1 \log. R + C \frac{r}{R} \quad . \; . \; . \; . \; \text{(Gleich. 17).}$$

Von diesem Ausdrucke ging ich bei einer Reihe weitergehender Berechnungen aus, die also nur annähernd richtig sein können. Im Folgenden werden wir indes sehen, wie der richtige Ausdruck für t so kompliziert wird, dafs es gewöhnlich praktisch unthunlich ist, denselben anzuwenden, weshalb wir in mehreren Fällen genötigt werden, zur Gleich. 17 zurückzugreifen, die doch allenfalls brauchbar ist, selbst wenn sie keine so genauen Resultate gibt, wie man wünschen möchte.

Digitized by Google

DIE GESETZE DES HELLIGKEITSKONTRASTES.

Sieht man ein Objekt von der Helligkeit R gegen einen dunkleren Hintergrund von der Helligkeit r, so wird ein positiver Kontrast stattfinden, indem R eine induzierte (scheinbare) Helligkeit $J > R$ erhält. Die Gröfse des J ist bestimmt durch das zuerst von Ebbinghaus nachgewiesene Gesetz:

$$J - R = \alpha (R - r) \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 18)},$$

wo α eine Konstante ist. Hat man dagegen ein dunkles Objekt r auf einem helleren Hintergrunde R, so wird ein negativer Kontrast stattfinden, indem r die scheinbare Helligkeit $i < r$ erhält. Für die Abhängigkeit des i von r und R hat Ebbinghaus das Gesetz angegeben:

$$i - r = \alpha_1 (r - R) \frac{r}{R} \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 19)},$$

wo α_1 ebenfalls eine Konstante ist; diese mufs, wenn die Gleichung in die hier angewandte Form gebracht wird, positiv sein, da sowohl $i - r$ als $r - R$ negativ ist.

Die Richtigkeit der beiden Gesetze, Gleich. 18 und Gleich. 19, legte Ebbinghaus mittels einer Reihe quantitativer Bestimmungen des Helligkeitskontrastes dar[1]. Die Versuche wurden mittels 52 grauer Papiere, die einen möglichst sanften Übergang aus tiefem Schwarz in reines Weifs bildeten, beim Tageslichte angestellt. Die Anordnung war übrigens dieselbe wie bei meinen ersten Kontrastmessungen[2]. Auf einen gegebenen Hintergrund J wurde eine Scheibe von derselben Helligkeit J gelegt; diese kleine Scheibe war also von jeglicher Kontrasteinwirkung völlig ausgeschlossen. Auf einem anderen, an J unmittelbar anstofsenden Hintergrunde r wurde nun eine hellere Scheibe, R, angebracht, deren Helligkeit so gewählt war, dafs sie wegen des Kontrastes mit r gleich J erschien. $J - R$ ist also gerade die durch den positiven Kontrast erzeugte Zu-

[1] Sitzungsberichte der Berliner Akademie. 1887. S. 1000.
[2] Phil. Stud. Bd. III S. 516.

nahme der Helligkeit des *R*. Ganz analog ist das Verfahren bei der Bestimmung des negativen Kontrastes. Eine Scheibe von der Helligkeit *i* wird auf einem Hintergrunde von derselben Helligkeit angebracht, und man sucht diejenige Scheibe *r*, die gegen den Hintergrund *R* gesehen gleich *i* erscheint. Die Gröfse $i - r$ wird dann das Mafs der Verminderung der Helligkeit.

Da die Versuchsanordnung in allem Wesentlichen bei Ebbinghaus' Messungen dieselbe war wie bei den meinigen, müfste man zu erwarten berechtigt sein, dafs auch meine Ergebnisse sich unter die beiden Gesetze einordnen liefsen. Wie Ebbinghaus angibt, stimmen meine Resultate allerdings mit Gleich. 18, dagegen aber nicht mit Gleich. 19 überein. Dieser Mangel an Übereinstimmung läfst sich freilich, wie Ebbinghaus meint, durch den Umstand erklären, dafs ein schwarzer Kasten während meiner Versuche eine nicht beabsichtigte und nicht ganz unbedeutende Kontrastwirkung herbeigeführt haben kann; es bleibt jedoch ein wenig rätselhaft, weshalb meine Resultate dennoch mit dem einen und gar nicht mit dem anderen Gesetze übereinzustimmen vermögen. Man müfste doch viel eher annehmen, dafs ein konstanter Faktor, wie der schwarze Kasten, einen konstanten Fehler der Resultate hervorbrächte, der sich als eine Abweichung in bestimmter Richtung von den Gesetzen erwiese. Die Möglichkeit ist also nicht ganz ausgeschlossen, dafs Gleich. 19 in der That nicht genau wäre. Und da Ebbinghaus selbst später die Richtigkeit dieses Gesetzes in Abrede gestellt hat[1], ohne es jedoch durch ein besseres zu ersetzen, müssen wir die Sache ins reine zu bringen suchen.

Vor allen Dingen ist nun zu bemerken, dafs sich in die Berechnung meiner Kontrastversuche ein Fehler eingeschlichen hat, der zwar nicht viel zu sagen hat, jedoch auch nicht ganz ohne Bedeutung ist. Zur Bestimmung der Helligkeit der verschiedenen Scheiben und Hintergründe ist es erforderlich, dafs wir das Ver-

[1] »Die Gesetzmäfsigkeit der Kontrastverdunkelungen ist komplizierter und noch nicht genügend klargestellt.« Ebbinghaus, Psychologie. Leipzig 1897. S. 223.

hältnis zwischen den Helligkeiten des angewandten Weiſs und Schwarz kennen, und dieses Verhältnis war auf 68[1] angesetzt. In einer späteren Arbeit wies ich aber nach, daſs die zur Bestimmung dieser Zahl angewandte Methode unzuverlässige Resultate gibt, und daſs der genaue Wert 52 wird[2]. Hieraus folgt also, daſs alle meine in der genannten Arbeit über den Kontrast gemachten Angaben über die Helligkeit der benutzten Papiere unrichtig werden; in dem Ausdrucke für H (an cit. Orte S. 519) muſs 52 statt 68 gesetzt werden. Kommt es nun darauf an, zu prüfen, inwiefern die Ebbinghausschen Gesetze für meine Versuche gültig sind, so müssen selbstverständlich alle Berechnungen gemäſs der angegebenen Änderung der Konstanten korrigiert werden.

Wir untersuchen nun erst den positiven Kontrast. In der Tab. 6 habe ich die ausführlichste meiner früheren Versuchsreihen[3], auf die oben angeführte Weise umgerechnet, wiedergegeben, auſserdem in der Tab. 7 eine Versuchsreihe, die 1886 im Kopenhagener Laboratorium ganz ebenso wie die früheren ausgeführt wurde, also ebenfalls mit dem vom schwarzen Kasten herrührenden Fehler behaftet ist. Über den beiden Tabellen steht die Helligkeit r des konstanten Hintergrundes angegeben, und darauf die Namen der Beobachter. Von besonderem Interesse sind hier die in der letzten Kolonne jeder Tabelle angeführten, aus Gleich. 18 berechneten Werte von α. Man sieht nun, daſs α in Tab. 6 bei $R/r = 4{,}02$ ein Maximum hat, und von hier an allmählich, wenn auch nicht stark, an Gröſse abnimmt, indem R/r anwächst. In Tab. 7, die allerdings keinen so groſsen Umfang hat, dafür aber eine bedeutende Anzahl Messungen zwischen den Grenzen $R/r = 2{,}00$ und $R/r = 5{,}71$ mitteilt, zeigt sich dagegen nicht die geringste Andeutung eines Maximums bei $R/r = 4$; freilich variiert α etwas, die Schwankungen scheinen aber ganz zufällig zu sein und müssen von der Unsicherheit herrühren,

[1] An cit. Orte. S. 510.

[2] Über Photometrie mittels rotierender Scheiben. Phil. Stud. Bd. IV S. 238.

[3] Phil. Stud. Bd. III S. 522—523.

$r = 1{,}00$ Tab. 6. N. & L.

R	J	$J-R$	$\frac{R}{r}$	α
2,49	2,63	+ 0,14	2,49	0,094
4,02	4,83	0,81	4,02	0,269
5,54	6,68	1,14	5,54	0,251
9,80	11,79	1,99	9,80	0,226
13,35	16,05	2,70	13,35	0,219
16,19	19,46	3,27	16,19	0,215
20,60	24,57	3,97	20,60	0,203
25,14	29,97	4,83	25,14	0,200
31,35	36,93	5,58	31,35	0,183
37,78	43,60	5,82	37,78	0,158
45,31	52,00	+ 6,69	45,31	0,151

$r = 1{,}63$ Tab. 7. G, Lo & L.

R	J	$J-R$	$\frac{R}{r}$	α
3,26	3,67	+ 0,41	2,00	0,252
4,97	5,75	0,78	3,05	0,234
5,39	6,48	1,09	3,30	0,290
5,61	6,68	1,07	3,44	0,269
5,80	6,82	1,02	3,56	0,245
6,52	7,53	1,01	4,00	0,207
7,21	8,43	1,22	4,42	0,218
7,90	9,25	1,35	4,84	0,215
8,60	10,22	1,62	5,28	0,233
8,95	10,75	1,80	5,49	0,246
9,30	11,10	+ 1,80	5,71	0,235

die diesen Schätzungen in hohem Grade anhaftet. Man darf daher der Tab. 6 erscheinenden regelmäfsigen Variationen von α gewifs kein zu grofses Gewicht beilegen. Und da hierzu kommt, dafs Hess und Pretori durch spätere Untersuchungen nach einer ganz anderen Methode die Richtigkeit des Gesetzes für den positiven Kontrast festgestellt haben[1], so ist Gleich. 18 mithin als dargelegt zu betrachten.

Anders verhält es sich dagegen mit dem Gesetze für den negativen Kontrast. Um mir ein aufser allen Zweifel gesetztes Versuchsmaterial zu verschaffen, benutzte ich ganz dasselbe Verfahren wie Ebbinghaus; ich brachte also kleine graue Scheiben unmittelbar auf

[1] Messende Untersuchungen über die Gesetzmäfsigkeit des simultanen Helligkeitskontrastes. Graefes Archiv f. Ophtalm. Bd. 40.

dem Hintergrunde an, mit welchem sie kontrastieren sollten. Hierdurch ist der Einflufs fremder Faktoren natürlich weit sicherer ausgeschlossen als durch die Anwendung von Scheiben, die vor dem induzierenden Hintergrund rotieren, wobei der Ständer des Rotationsapparats, die Schraubenmutter im Zentrum der Scheiben und dergl. notwendigerweise ins Gesichtsfeld geraten und nicht zu berechnende Störungen herbeiführen. Bei den Versuchen nach der Ebbinghausschen Methode benutzte ich folgende einfache Anordnung. Auf einem Stücke planen Kartons, 5 mm dick und 24 × 36 cm im Viereck, wurden zwei Stücke Papier angebracht, deren jedes 18 × 24 cm hielt, und die im Verein also den ganzen Karton deckten. Diese Papiere von der Helligkeit *r* und *i* bildeten die Hintergründe. Auf diese wurden wieder kleine kreisförmige Scheiben von 6 cm im Durchmesser gelegt; ihre Entfernung von der Linie, wo die Hintergründe zusammenstiefsen, war konstant 4 cm. Über das Ganze legte ich hierauf eine Glasplatte von derselben Gröfse wie der Karton, an den sie mittels vier photographischer Kopieklammern, eine in jeder Ecke, fest angeklemmt wurde. Die kleinen Scheiben wurden hierdurch an der Stelle festgehalten, wo sie liegen sollten, so dafs man den ganzen Apparat senkrecht stellen konnte, und nachdem dieser in verschiedener Entfernung von den Lampen im Dunkelraum angebracht war, den Kontrast bei verschiedener Beleuchtung zu untersuchen vermochte. Die Messung des Kontrastes wurde übrigens auf die oben (S. 45) näher besprochene Weise ausgeführt.

Das erste Resultat der Versuche war dies, dafs die absolute Gröfse der Beleuchtung ohne Einflufs auf den Kontrast ist. Bei starkem Tageslichte und bei den verschiedenen Lampen im Dunkelraum erhielt ich dieselben Resultate. Dagegen war es von grofser Wichtigkeit, dafs die Scheiben in konstanter Entfernung betrachtet wurden, denn der Kontrast wurde um so stärker, je kleiner der Gesichtswinkel war, unter welchem die Scheiben betrachtet wurden. Als geeignete Entfernung des Auges von den Scheiben wählte ich 60 cm; der Gesichtswinkel wurde hierdurch derselbe wie der, unter welchem die rotierenden Scheiben bei meinen früheren

Digitized by Google

Kontrastmessungen betrachtet worden waren, indem diese Scheiben 20 cm im Durchmesser waren und aus einer Entfernung von 200 cm beobachtet wurden. Übrigens führte ich nur eine einzige Versuchsreihe aus, da es sich sogleich ergab, daſs diese zu demselben Resultate führte wie meine älteren Kontrastmessungen. Die gefundenen Gröſsen sind in der Tab. 8 angegeben, über welcher die Helligkeit des induzierenden Hintergrundes R angeführt ist; die Helligkeit der reagierenden Felder r und die hierdurch induzierten Helligkeiten i finden sich in den beiden ersten Kolonnen angeführt. Unter der Überschrift α_1 sind die aus Gleich. 19 berechneten Werte gegeben. Vergleicht man nun diese Zahlen mit den entsprechenden der Tab. 9, welche die ausführlichste meiner früheren Versuchsreihen über den negativen Kontrast gibt, so sieht man, daſs α_1 in beiden Versuchsreihen auf durchaus übereinstimmende Weise variiert. Die absoluten Werte des α_1 sind in den beiden Reihen verschieden; dies kann uns aber nicht in Erstaunen setzen, denn selbst wenn der Gesichtswinkel für die reagierenden Felder derselbe gewesen ist, gibt es bekanntlich viele andere Faktoren, die auf die Gröſse des Kontrastes Einfluſs üben. Schon der Umstand, daſs die verschiedenen zu vergleichenden Flächen in der einen Versuchsreihe in demselben Plan lagen, während sie sich in der anderen Reihe entschieden auseinandertrennten, kann genügen, um den weit stärkeren Kontrast in ersterer Reihe zu erklären. Der Unterschied zwischen den absoluten Werten des α_1 in den beiden Reihen ist daher ohne gröſsere Bedeutung; das Wesentliche ist hier, daſs α_1 nicht konstant ist und in beiden

$R = 57{,}55$ Tab. 8. L.

r	i	$i-r$	$\frac{R}{r}$	α_1	ber. α_1
53,9	46,6	— 7,3	1,07	2,11	2,02
51,7	42,5	9,2	1,11	1,73	1,97
44,6	29,3	15,3	1,29	1,52	1,79
38,2	16,9	21,3	1,51	1,66	1,62
29,3	9,5	19,8	1,96	1,37	1,42
2[illegible],6	4,5	17,1	2,66	1,28	1,23
8,3	1,6	6,7	6,93	0,97	0,87
4,[illegible]	1,0	— 3,8	11,99	0,84	0,76

Digitized by Google

$R = 52{,}00$ Tab. 9. N. & L.

r	i	$i-r$	$\frac{R}{r}$	α_1	ber. α_1
49,56	43,60	— 5,96	1,05	2,563	1,020
43,46	36,93	6,53	1,20	0,915	0,910
39,34	29,97	9,37	1,32	0,978	0,843
32,67	24,57	8,10	1,59	0,667	0,737
26,56	19,46	7,10	1,96	0,547	0,646
22,58	16,05	6,53	2,30	0,511	0,590
16,76	11,79	4,97	3,10	0,438	0,508
10,87	6,68	4,19	4,78	0,487	0,423
7,63	4,83	2,80	6,95	0,439	0,369
3,63	2,63	— 1,00	14,30	0,298	0,297

Reihen bei zunehmenden Werten des R/r sehr entschieden abnimmt. Dafs die Messungen an einiger Unsicherheit leiden, verrät sich deutlich dadurch, dafs mitten unter geringeren Werten des α_1 einzelne gröfsere vorkommen; die Variation ist also keine ganz gleichmäfsige; die sinkende Tendenz ist aber nicht zu verkennen. Da α_1 nach Gleich. 19 konstant sein sollte, dies aber thatsächlich nicht ist, so mufs die Gleich. 19 als unrichtig bezeichnet werden. Es findet sich aber doch bestimmte Gesetzmäfsigkeit in den Variationen von α_1, und es mufs möglich sein, dieses Gesetz zu finden. Es ist denn auch nicht schwer, nachzuweisen, dafs α_1 sich durch folgende Formel genau ausdrücken läfst:

$$\alpha_1 = \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}}$$

wo β und γ Konstanten sind. Bestimmt man diese für jede der beiden Versuchsreihen für sich mittels der Methode der kleinsten Quadrate, so findet man

für Tab. 8: $$\alpha_1 = \frac{1{,}243}{0{,}5853 + \log. \frac{R}{r}}$$

und für Tab. 9: $$\alpha_1 = \frac{0{,}474}{0{,}4415 + \log. \frac{R}{r}}$$

Werden nun die verschiedenen Werte des R/r nacheinander in diese beiden Formeln eingesetzt, so läfst sich das entsprechende α_1 hieraus berechnen; diese Werte sind in den beiden Tabellen unter der Überschrift

Digitized by Google

»ber. α_1« angeführt. Die berechneten Werte von α_1 stimmen, wie man sieht, mit den gefundenen so gut überein, wie es bei der unsicheren Natur der Messungen nur zu erwarten stand. Es darf als hierdurch dargethan betrachtet werden, dafs für den negativen Kontrast folgende Formel gültig ist:

$$i - r = \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R} (r - R) \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 20).}$$

Für unsere weiteren Untersuchungen wird also das durch Gleich. 20 ausgedrückte Gesetz im Verein mit Gleich. 18 die Grundlage bilden.

Bisher setzten wir voraus, dafs nur eines der beiden Felder durch den Kontrast verändert würde, während das andere, der Hintergrund, keine Änderung erlitte. Dies ist natürlich nur zum Teil richtig; der Hintergrund verändert sich ebenfalls ein wenig, ist er aber grofs im Vergleich mit dem reagierenden Felde, so wird seine Veränderung durch den Kontrast eine äufserst geringe. Es leuchtet indes ein, dafs die Genauigkeit unserer Messungen nicht dadurch geschädigt wird, dafs wir die Veränderung des Hintergrundes unberücksichtigt lassen. Erleidet das reagierende Feld z. B. einen positiven Kontrast, den wir messen, so erleidet gleichzeitig der Hintergrund einen negativen Kontrast, den wir nicht messen; die unternommene Messung wird aber ja doch darum nicht weniger genau, weil wir die andere anzustellen unterlassen. Sobald dagegen die Frage entsteht, wie grofs der ganze durch den Kontrast hervorgerufene Unterschied zwischen den beiden Feldern ist, mufs selbstverständlich die Kontrastveränderung beider Felder in Betracht gezogen werden. Dies kann aber auch keine Schwierigkeit bereiten, da wir das Gesetz für den positiven wie auch das Gesetz für den negativen Kontrast kennen. Wird R zu J, dessen Gröfse durch Gleich. 18 bestimmt ist, und gleichzeitig r zu i, dessen Gröfse durch Gleich. 20 ergeben ist, so wird die Differenz $R - r$ aufgefafst, als hätte sie die Gröfse $J - i$, die sich aus den beiden Gleichungen berechnen läfst. Ziehen wir Gleich. 20 von Gleich. 18 ab, so erhalten wir:

Digitized by Google

$$J - i - (R - r) = \alpha (R - r) + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R} \cdot (R - r),$$

woraus folgt

$$J - i = (R - r) \left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R} \right] \quad \ldots \text{(Gleich. 21).}$$

Man sieht also, dafs zwei gleichzeitige Gesichtsreize von der Helligkeit R und r, die räumlich so geordnet sind, dafs sie miteinander kontrastieren, des Kontrastes wegen wirken werden, als wäre ihr Unterschied gröfser, als er wirklich ist, und dafs man den scheinbaren Unterschied erhält, wenn man $R - r$ mit dem in der Gleich. 21 gegebenen Faktor multipliziert. Theoretisch ist die Sache also völlig klar; in der Praxis kann bei der Berechnung von $J - i$ eine Schwierigkeit entstehen, weil die Konstanten α, β und γ sich mit der räumlichen Ordnung von R und r verändern. Wir sahen oben, dafs schon ein einzelner kleiner Umstand, der die Kontrastwirkung erleichterte, sogleich eine Änderung der Konstanten herbeiführte. Hat man daher die Konstanten für den Fall bestimmt, wo das eine Objekt gegen das andere als Hintergrund gesehen wird, so lassen diese Konstanten sich nicht auf den Fall übertragen, wo die Objekte aneinandergrenzen und einander in entgegengesetzten Richtungen gleich stark induzieren. Man mufs mit anderen Worten jedesmal, wenn man neue Versuchsbedingungen einführt, auch die Konstanten aufs neue berechnen; ob diese aber grofs oder klein werden, ist für die Gültigkeit der Gleichungen 18 und 20 natürlich ohne Belang.

Wir schreiten jetzt zu dem Nachweis, wie wir mittels dieser Kontrastgesetze zu einem genauen Ausdruck für die Periodenkonstante gelangen können.

DIE PERIODENKONSTANTE UND DAS UNTERSCHEIDUNGSGESETZ.

Die Abhängigkeit der Periodenkonstante von dem Kontraste der Sektoren. Es war der Versuch, für die Periodenkonstante eine genaue Formel zu finden, der uns zur Untersuchung der Kontrastgesetze bewog; da dieser Punkt nun geordnet ist, kehren wir zur anfänglichen Frage zurück. Gibt es nun irgend eine Wahrscheinlichkeit, dafs eine Kontrastwirkung der Sektoren stattfinden kann, so dafs diese auf die kritische Periode der rotierenden Scheibe irgend einen Einflufs zu üben vermöchte? Die Antwort hierauf wird offenbar davon abhängen, was in letzter Instanz die Ursache alles Kontrastes ist. Ist der Kontrast, wie Helmholtz[1] und Wundt[2] glauben, eine rein psychische Erscheinung, die darauf beruht, dafs wir kein absolutes Mafs für unsere Empfindungen haben, so dafs wir die Differenz zweier gleichzeitiger Empfindungen je nach den Umständen, unter denen diese sich darbieten, auf verschiedene Gröfse schätzen — so kann von einem Kontraste zwischen den Sektoren einer rotierenden Scheibe offenbar keine Rede sein. Denn der psychologischen Auffassung des Kontrastes zufolge mufs es für dessen Eintreten die unabweisbare Bedingung sein, dafs im Bewufstsein wirklich zwei gesonderte Empfindungen gegeben sind, deren Unterschied geschätzt wird. Die verschiedenen Sektoren einer rotierenden Scheibe, die im Bewufstsein zu einer einzigen Empfindung verschmelzen, sind folglich nicht im Besitze der notwendigsten Bedingung, um miteinander kontrastieren zu können. Es gibt aber noch eine andere Möglichkeit, die nämlich, dafs der Kontrast auf einer rein physiologischen Wechselwirkung zwischen zwei gleichzeitig gereizten Stellen der Netzhaut beruhen könnte. Ist diese Auffassung, die zuerst von Plateau und Hering aufgestellt wurde, und die vor kurzem an G. E. Müller einen Fürsprecher

[1] Physiologische Optik. 2. Aug. 1896. S. 543.
[2] Physiologische Psychologie. I[4]. 1893. S. 540.

Digitized by Google

gefunden hat[1], die richtige, so ist offenbar gar nichts im Wege, dafs zwischen den Sektoren einer rotierenden Scheibe Kontrastwirkung vorkommen kann. Denn während der Rotation der Scheibe wird jeder Punkt der Netzhaut kürzere oder längere Zeit hindurch von einem bestimmten Sektor Licht empfangen, und solange also auf zwei Punkte, *A* und *B*, Bilder zweier verschiedener Sektoren fallen, so lange mufs zwischen *A* und *B* auch die Wechselwirkung vorgehen, auf welcher der Kontrast beruht. Da der Kontrast, wie wir wissen, zur Folge hat, dafs der Unterschied zwischen den kontrastierenden Flächen gröfser erscheint, als er thatsächlich ist, so wird die Kontrastwirkung zwischen *A* und *B* sich folglich den Prozessen widersetzen, von denen die Verschmelzung der Sektorenbilder abhängig ist. Die Verschmelzung zu verhindern vermag der Kontrast natürlich nicht, aber selbst nachdem die Verschmelzung eine vollständige geworden ist, müssen zwischen den verschiedenen Stellen der Netzhaut doch noch immer Kontrastwirkungen vorgehen. So stellt sich die Sache, wenn der Kontrast ein in der Netzhaut verlaufender physiologischer Prozefs ist, und da diese Auffassung wohl sogar die überwiegende Wahrscheinlichkeit für sich hat[2], liegt also jedenfalls nichts Absurdes in dem Gedanken, dafs zwischen den Sektoren einer rotierenden Scheibe, obgleich sie nur eine einzelne Empfindung hervorrufen, Kontrastwirkungen vorgehen können. Wir gehen nun von dieser Voraussetzung aus, um zu untersuchen, welche Konsequenzen sie herbeiführt. Sollte es sich hierbei erweisen, dafs wir von der Annahme einer Kontrastwirkung zwischen den Sektoren aus zu einer befriedigenden Formel für die Periodenkonstante gelangen können, so wäre hierdurch zugleich ein schwer ins Gewicht fallender Beweis für die Richtigkeit der physiologischen Erklärung des Kontrastes geführt. Denn der psychologischen Auffassung zufolge wird die An-

---

[1] Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschr. für Psychol. u. Phys. der Sinnesorgane. Bd. 14. S. 25 u. f.

[2] Die Thatsachen zwingen mich zu diesem Eingeständnisse, obschon ich früher die psychologische Erklärung des Kontrastes für die natürlichere hielt.

nahme eines Kontrastes zwischen zwei Gröfsen, die für das Bewufstsein nicht jede für sich existieren, geradezu sinnlos sein.

Wir fanden oben (S. 42), dafs die Gleichung:

$$(t-\tau)\left(\frac{R}{r}-1\right)=C_1 \;.\;.\;.\;.\; \text{(Gleich. 16)}$$

bei $r=0$ und $r=R$ für t diejenigen Werte ergibt, welche man der Natur der Erscheinungen zufolge haben mufs, dafs die Gleichung sonst aber nicht durch die gefundenen Werte von t befriedigt wird. Nun wurde indes in der Gleich. 16 der möglicherweise vorkommende Kontrast der Sektoren untereinander nicht berücksichtigt. Bringt man nämlich die Gleichung in die Form:

$$(t-\tau)\left(\frac{R-r}{r}\right)=C_1 \;.\;.\;.\;.\; \text{(Gleich. 22)},$$

so sieht man, dafs sie nur die objektive Differenz $R-r$ enthält; soll also der Kontrast berücksichtigt werden, so mufs man statt $R-r$ die durch den Kontrast hervorgebrachte Differenz $J-i$ setzen, für die wir in Gleich. 21 einen Ausdruck haben. Wird dieser in die Gleich. 22 eingesetzt, so erhält man:

$$(t-\tau)\left(\frac{R}{r}-1\right)\left[1+\alpha+\frac{\beta}{\gamma+\log.\frac{R}{r}}\cdot\frac{r}{R}\right]=K \ldots \text{Gleich. 23)},$$

wo K eine Konstante ist. Es gilt nun, zu prüfen, inwiefern diese Gleichung durch die gefundenen, in der Tab. 5 angegebenen Werte für t befriedigt wird. Diese Probe ist indes mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, da Gleich. 23 vier Konstanten, α, β, γ und K enthält, die wir nicht kennen, und deren wahrscheinliche Werte deshalb mittels der gefundenen Gröfsen von t bestimmt werden müssen. Nun ist der Ausdruck jedoch so kompliziert und findet γ sich hier auf solche Weise, dafs eine Bestimmung der Konstanten mittels der Methode der kleinsten Quadrate fast endlose Berechnungen erfordert. Ich bediente mich deshalb eines etwas kürzeren Verfahrens, wodurch ich damit davon kam, dafs das Rechnen mir nur ein paar Wochen kostete; die auf diese Weise gefundenen Konstanten sind aber nicht die wahrscheinlichsten Werte. Wir können deshalb aber

auch nicht erwarten, dafs zwischen Messung und Berechnung völlige Übereinstimmung stattfinden sollte, wenn wir die verschiedenen Werte von $t-\tau$ aus Gleich. 23 nach Einsetzung der Konstanten berechnen, und die Summe der Quadrate der Fehler wird nicht das Minimum. Die Übereinstimmung der Messung mit der Berechnung ist nichtsdestoweniger, wie wir sogleich sehen werden, eine sehr gute.

Für die Konstanten fand ich folgende Werte: $\alpha = 0{,}000$, $\beta = 0{,}942$, $\gamma = 0{,}0362$, während K von R abhängig ist und folglich für jede der drei Versuchsreihen verschiedenen Wert annimmt. So finde ich für $R = 1841600$ das $K = 11{,}64$; für $R = 18416$ das $K = 21{,}13$ und für $R = 184$ das $K = 32{,}48$. Werden diese Konstanten in die Gleich. 23 eingesetzt, so erhält diese folgende Form:

$$(t-\tau)\left(\frac{R}{r}-1\right)\left[1+\frac{0{,}942}{0{,}0362+\log.\frac{R}{r}}\cdot\frac{r}{R}\right]$$

$$=\begin{cases} 11{,}64 \text{ für } R = 1841600 \\ 21{,}13 \quad \text{»} \quad R = 18416 \\ 32{,}48 \quad \text{»} \quad R = 184 \end{cases} \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 24).}$$

Hieraus läfst sich nun $t-\tau$ berechnen durch successives Einsetzen der Werte für R/r. Man kommt auf diese Weise zu den Tab. 10 unter der Überschrift »$t-\tau$ ber.« angegebenen Werten. Übrigens ist die Tabelle wie Tab. 5 geordnet, indem sie in der ersten Kolonne die allen drei Reihen gemeinsamen Verhältnisse R/r gibt; darauf kommen die Werte von r und die entsprechenden gefundenen Werte von $t-\tau$. In der letzten Kolonne endlich sind die Abweichungen der gefundenen von den berechneten Gröfsen des $t-\tau$ unter f angegeben. Man sieht, dafs diese Fehler durchweg sehr klein sind; der durchschnittliche Fehler beträgt $1{,}5\sigma$, was als befriedigend zu betrachten ist, besonders unter Berücksichtigung der weniger genauen Weise, wie die Konstanten bestimmt wurden. Nur an zwei Stellen nimmt der Fehler eine bedenkliche Gröfse an, nämlich für $r = 149$, wo $f = +7{,}4$, und bei $r = 1793920$, wo er sogar bis $f = +13{,}0$ ansteigt. Diese bedeutenden Fehlergröfsen können die Übereinstimmung der Messung mit der Berechnung jedoch nicht zweifelhaft machen. Denn erstens ist in

Tab. 10.

$\frac{R}{r}$	$R = 1\,841\,600$			
	r	$t-\tau$	$t-\tau$ ber.	f
1,027	1 793 920	34,3	21,3	+ 13,0
1,11	1 655 680	9,9	9,3	+ 0,6
1,23	1 492 160	6,3	7,2	— 0,9
1,36	1 359 040	4,0	6,3	— 1,7
1,86	986 880	3,9	5,1	— 1,2
3,07	600 000	2,8	3,5	— 0,7
5,88	313 600	2,1	2,0	+ 0,1
12,06	152 640	1,1	1,0	+ 0,1
19,98	92 160	0,5	0,6	— 0,1
57,55	32 000	0,2	0,2	0,0

$\frac{R}{r}$	$R = 18\,416$			
	r	$t-\tau$	$t-\tau$ ber.	f
1,027	17 939	38,4	38,6	— 0,2
1,11	16 557	20,3	16,9	+ 3,4
1,23	14 922	12,9	13,0	— 0,1
1,36	13 590	10,9	11,5	— 0,6
1,86	9 869	7,0	9,3	— 2,3
3,07	6 000	5,3	6,4	— 1,1
5,88	3 136	2,9	3,6	— 0,7
12,06	1 526	1,5	1,8	— 0,3
19,98	922	1,1	1,1	0,0
57,55	320	0,6	0,4	+ 0,2

$\frac{R}{r}$	$R = 184$			
	r	$t-\tau$	$t-\tau$ ber.	f
1,027				
1,11	166	∞		
1,23	149	27,4	20,0	+ 7,4
1,36	136	17,3	17,7	— 0,4
1,86	99	11,1	14,2	— 3,1
3,07	60	7,3	9,9	— 2,6
5,88	31	4,4	5,5	— 1,1
12,06	15	2,5	2,8	— 0,3
19,98	9	1,7	1,7	0,0
57,55	3	0,8	0,6	+ 0,2

den Fehlern keine Spur von Regelmäſsigkeit; die erwähnten groſsen Fehler stehen durchaus isoliert da und sind nicht die äuſsersten Glieder einer Reihe immer zunehmender Fehler. Ferner ist es gerade aus der Natur

der Messungen zu verstehen, dafs wir eben an diesen Stellen die Gefahr laufen, grofse positive Fehler zu erhalten. Denn da das Verhältnis R/r hier sehr annähernd $= 1$ ist, finden wir also nur geringe Verschiedenheit der Helligkeit der Sektoren; der Unterschied war in der That kaum mehr als eben merkbar. Infolgedessen ist es sehr schwer zu entscheiden, wann der letzte Flimmer auf der Scheibe verschwindet, und läfst man, um keine gar zu grofse Rotationsgeschwindigkeit zu erhalten, von Zeit zu Zeit den Flimmer wieder entstehen, so ist es schwer, denselben zu erblicken, weshalb die Geschwindigkeit sehr gering gemacht werden mufs. Dies will mit anderen Worten aber nur heifsen, dafs der gemessene Wert der kritischen Periode, mithin die Periodenkonstante, gar zu grofs wird. Die Tab. 10 ist also als hinlänglicher Beweis für die Gültigkeit der Gleich. 24 zu betrachten.

Hierbei können wir jedoch nicht stehen bleiben. Denn Gleich. 24 enthält eine mit R variierende Konstante K, und wir müssen also K durch R auszudrücken suchen. Dies bietet nun auch keine gröfsere Schwierigkeit dar. Vergleicht man die in der Gleich. 24 angeführten Werte für K mit den entsprechenden für τ in Tab. 3, so sieht man, dafs hier fast völlige Übereinstimmung herrscht. Für $R = 1841600$ zeigt Tab. 3 $\tau = 10{,}7$, während wir $K = 11{,}64$ fanden; für $R = 18416$ hat man $\tau = 21{,}0$, während $K = 21{,}13$ ist; endlich für $R = 184$ ist $\tau = 34{,}3$ und $K = 32{,}48$. Die Abweichungen der verschiedenen korrespondierenden Werte von τ und K sind hier offenbar nicht gröfser, als dafs sie sich durch Beobachtungsfehler im Verein mit der weniger korrekten Bestimmung der Konstanten erklären lassen. Es wird deshalb doch allenfalls der Mühe wert sein, zu versuchen, ob wir nicht dadurch, dafs wir in Gleich. 23 τ statt K setzen, einen befriedigenden Ausdruck für t sollten erhalten können. Man erhält nun, indem die Gleichung mit Bezug auf t gelöst wird:

$$t = \tau \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log.\frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)} \right]$$

Wird hierin der aus Gleich. 12 genommene Ausdruck für τ eingesetzt, so ist

$$t = (k - k_1 \log. R) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)} \right]$$

. . . . (Gleich. 25).

Hier finden sich, wie man sieht, aufser Konstanten nur R und R/r, und wir haben also den vollständigen Ausdruck für t. Setzen wir die gefundenen Konstanten ein, so erhalten wir also:

$$t = (47{,}6 - 6{,}035 \log. R) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \frac{0{,}442}{0{,}0362 + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)} \right]$$

. . . . Gleich. 26).

Wir prüfen nun die Richtigkeit der Formel mittels der fünf in Tab. 3 angeführten Versuchsreihen, die bisher noch gar nicht benutzt wurden. Da die Konstanten in Gleich. 26 ausschliefslich aus den anderen Versuchsreihen berechnet wurden, gibt es von der Gültigkeit der Gleichung in der That eine sehr gute Probe, wenn wir aus derselben die unter anderen Versuchsverhältnissen gefundenen Werte von t zu berechnen im stande sind. In der Tab. 11 sind die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammengestellt. Die Tabelle zerfällt in fünf Gruppen, den fünf in der ersten Kolonne angeführten Werten von R entsprechend, mit denen die Versuche ausgeführt wurden. Unter der Überschrift »ber. τ« sind darauf die aus der Formel $\tau = 47{,}6 - 6{,}035 \log. R$ berechneten Werte angegeben. Diese bilden den einen, ausschliefslich von R abhängigen Faktor der Gleich. 26. In den drei folgenden Kolonnen sind r, R/r und die gefundenen, in der Tab. 3 angeführten Werte von t zu finden. In der nächstletzten Kolonne hat man die aus Gleich. 26 berechneten Werte von t, und endlich unter f die Abweichungen der gefundenen von den berechneten Gröfsen t.

Tab. 11.

R	τ ber.	r	$\frac{R}{r}$	t	t ber.	f
9869	23,5	9366	1,054	45,8	49,7	— 3,9
		6000	1,64	31,8	34,7	— 2,9
		3136	3,15	28,3	30,5	— 2,2
		1526	6,46	25,8	27,2	— 1,4
		921	10,71	24,6	25,7	— 1,1
		320	30,84	23,3	24,3	— 1,0
6000	24,8	5395	1,11	43,6	44,6	— 1,0
		3136	1,91	33,5	35,5	— 2,0
		1526	3,93	29,8	30,9	— 1,1
		921	6,51	28,0	28,6	— 0,6
		320	18,75	26,3	26,1	+ 0,2
3136	26,5	3033	1,034	56,6	66,3	— 9,7
		1526	2,05	37,0	37,4	— 0,4
		921	3,40	33,7	33,9	— 0,2
		320	9,80	29,5	29,3	+ 0,2
1526	28,4	1427	1,07	62,3	56,6	+ 5,7
		921	1,65	41,8	41,9	— 0,1
		320	4,77	34,3	34,3	0,0
921	29,7	518	1,77	47,9	43,2	+ 4,7
		320	2,88	39,2	39,2	0,0

Die Fehler sind, wie man sieht, durchweg sehr klein; der durchschnittliche Fehler beträgt 1,9 σ, was mir sehr befriedigend zu sein scheint. Überdies sind es hier wie in den anderen Versuchsreihen nur einige einzelne grofse Fehler, die den Durchschnittsfehler so stark in die Höhe treiben, und diese grofsen Fehler fallen ebenso wie vorher ausschliefslich auf diejenigen Werte des r, die sich dem korrespondierenden R so sehr nähern, dafs der Unterschied der Empfindung nahezu ebenmerklich wird. Hier müssen die Messungen daher notwendigerweise unsicher werden. Dafs die Fehler durchweg negativ sind, hat offenbar nicht viel zu bedeuten; dies deutet zunächst darauf hin, dafs die in Gleich. 26 aufgenommenen Konstanten nicht ganz genau sind — und das wissen wir ja vorher. Meines Erachtens ist die in der Tab. 11 gezeigte Übereinstimmung der Messung mit der Berechnung eine so gute, dafs die Gültigkeit der Gleich. 25 (26) als hierdurch erwiesen zu betrachten ist. Sind die Konstanten bestimmt, so kann man mittels dieser Gleichung also die Gröfse der Periodenkonstante

Digitized by Google

t für jeden beliebigen aufgegebenen Wert von R und r finden, und durch die Gleichungen 10 und 11 läfst sich darauf die kritische Periode T für alle gegebenen Gröfsen der Sektoren annähernd bestimmen.

Aufser diesem praktischen Resultate haben wir aber noch ein anderes von nicht unbedeutendem theoretischem Interesse gewonnen. Wir sahen, dafs sich in der Formel für die Periodenkonstante ein Faktor findet, der den Kontrast der Sektoren ausdrückt; erst als wir die Kontrastwirkung mit in Betracht zogen, kamen wir zu einer mit den Messungen übereinstimmenden Gleichung. Dies scheint mir notwendig zu folgendem Schlusse führen zu müssen:

Der Helligkeitskontrast ist ein wahrscheinlich in der Netzhaut verlaufender rein physiologischer Prozefs, der zu stande kommt, sobald verschiedene Stellen der Netzhaut ungleich stark beleuchtet werden; ob diese verschiedenen Beleuchtungen ebenfalls verschiedene Empfindungen hervorrufen, also als getrennte Felder von verschiedener Helligkeit aufgefafst werden, ist für das Eintreten des Kontrastes dagegen durchaus gleichgültig.

Da kaum anzunehmen ist, dafs zwischen dem Helligkeitskontraste und dem eigentlichen Farbenkontraste ein qualitativer Unterschied bestehen sollte, scheint hieraus mit Notwendigkeit hervorzugehen, dafs aller Farbenkontrast, im weitesten Sinne, auf einem rein physiologischen Prozesse beruht und davon unabhängig ist, ob die kontrastierenden Felder wirklich als getrennt aufgefafst werden.

Das Unterscheidungsgesetz. Im Anfange des Abschnittes »Die kritische Periode der rotierenden Scheiben« wurde nachgewiesen, dafs die kritische Periode, mithin auch die Periodenkonstante von der Unterschiedsempfindlichkeit des Beobachters abhängig ist. Es wird folglich besonderes Interesse haben, zu untersuchen, welche Werte t annimmt, wenn die Helligkeit der Sektoren, R und r, nur ebenmerklich verschiedene Empfindungen hervorruft. Ich suchte deshalb bei meinen Messungen des t in einer gröfseren Anzahl von Fällen

Digitized by Google

die Werte des t zu bestimmen, wenn der Unterschied der Sektoren ein nur ebenmerklicher war. Dies erwies sich aber als praktisch unthunlich. Erstens ist es fast unmöglich, die erforderlichen Papiere herbeizuschaffen. Die verschiedenen Sektoren müssen aus bemalten Papieren hergestellt werden, und nur ausnahmsweise gelang es mir, diese mit so grofser Genauigkeit auszuführen, dafs sie bei einer bestimmten Beleuchtung einen ebenmerklichen Unterschied zeigten. Deswegen erhielt ich nur ein wenig umfangreiches Versuchsmaterial, trotzdem eine unverhältnismäfsig lange Zeit zur Beschaffung der erforderlichen Papiere angewandt wurde. Ferner erwies es sich, was die vorhergehenden Untersuchungen bereits durch verschiedene Beispiele gezeigt hatten, dafs eine auch nur einigermafsen genaue Bestimmung der Periodenkonstante unmöglich wurde, wenn der Unterschied zwischen den Helligkeiten der Papiere so gering war. Wenn die Scheibe rotiert, erblickt man leicht die Verschiedenheit der Sektoren, selbst nachdem der dunklere Sektor bis zu einem ganz schmalen Streifen eingeschrumpft ist; es ist aber nicht möglich, mit Sicherheit zu entscheiden, wann dieser Streifen verschwindet, oder mit anderen Worten, wann die Scheibe ganz ohne Flimmer wird. Die Beurteilung wird durchaus unsicher, und nicht einmal der Durchschnitt einer gröfseren Anzahl Messungen wird zuverlässig, weil man sich schnell daran gewöhnt, auf bestimmte Weise zu schätzen, so dafs die einzelnen Messungen oft überraschend gut übereinstimmen. Darum kann man sich aber doch nicht auf das Resultat verlassen, wie aus den Tabellen 10 und 11 zu ersehen ist; kommt r ganz nahe an R, so zeigen sich die gemessenen Werte des t mit auffallend grofsen Fehlern behaftet, die gewöhnlich positiv sind, jedoch auch negativ werden können (siehe Tab. 11).

Durch direkte Messungen können wir also zu keinem bestimmten Ergebnisse mit Bezug auf die Werte gelangen, welche t annimmt, wenn der Unterschied der Sektoren ein ebenmerklicher ist. Darum ist es uns aber doch nicht verwehrt, über diese Sache ins reine zu kommen, denn diese Werte müssen sich aus Gleich. 26 berechnen lassen, wenn wir die Unterschiedsempfindlichkeit für verschiedene Gröfsen des R bestimmen. Das that ich

denn auch. Unter Anwendung desselben Materials, das zur Messung des t benutzt wurde, bestimmte ich meine Unterschiedsempfindlichkeit für sehr verschiedene Gröfsen des R. Eine Übersicht über die gefundenen Resultate ist in der Tab. 12 gegeben. In der ersten Kolonne ist R angeführt, in der nächsten Kolonne die entsprechenden Werte der Unterschiedsempfindlichkeit, durch das Verhältnis R/r ausgedrückt; in den beiden folgenden Kolonnen sind unter den Überschriften τ und B die Werte der beiden Faktoren gegeben, in die sich der Ausdruck für t (Gleich. 26) teilt. Man hat nämlich:

$$\tau = 47{,}6 - 6{,}035 \log. R \; \ldots\ldots \; \text{(Gleich. 13)},$$

und setzt man daher

$$B = 1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \frac{0{,}942}{0{,}0362 + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)}$$

so wird also: $t = \tau \cdot B$ . . . . (Gleich. 27).
Die in der Tab. 12 unter der Überschrift t gegebenen Zahlen sind also, der Gleich. 27 gemäfs, die Produkte der in den Kolonnen τ und B angeführten Gröfsen.

Tab. 12.

R	$\frac{R}{r}$	τ	B	t	$\frac{60}{\tau}$	$\frac{R}{r}$ ber.
1 841 600	1,008	9,8	6,07	59,5	6,12	1,008
986 880	1,009	11,4	5,55	63,3	5,26	1,009
313 600	1,011	14,4	4,82	69,4	4,17	1,014
9 868	1,025	23,5	2,95	69,2	2,55	1,032
3 136	1,034	26,5	2,55	67,6	2,26	1,045
1 526	1,070	28,4	1,99	56,5	2,11	1,057
921	1,091	29,7	1,87	55,5	2,02	1,068
99	1,202	35,6	1,64	58,4	1,69	1,183
31	1,291	38,6	1,58	61,0	1,55	1,389
9	2,180	41,8	1,39	58,3	1,44	1,887

Betrachtet man die berechneten Gröfsen t, so erweisen diese sich als fast konstant. Allerdings zeigen die Zahlen einige Verschiedenheit, aber keine Spur einer gesetzmäfsigen Variation, indem die gröfsten und die kleinsten Werte unmittelbar aneinanderstofsen. Die Abweichungen scheinen daher ausschliefslich von Zu-

fälligkeiten herzurühren, von der unvermeidlichen Unsicherheit bei der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit R/r im Verein mit dem Umstande, dafs die in Gleich. 26 aufgenommenen Konstanten nicht die wahrscheinlichsten Werte sind. Ich halte es deshalb für berechtigt, aus den vorliegenden Messungen und Berechnungen den Schlufs zu ziehen, dafs t wirklich konstant ist. Oder mit anderen Worten:

Wenn zwischen den Sektoren einer rotierenden Scheibe nur ein ebenmerklicher Empfindungsunterschied stattfindet, so wird für einen gegebenen Beobachter die Periodenkonstante einen konstanten, von der absoluten Helligkeit der Sektoren unabhängigen Wert haben.

Hieraus folgt nun ganz einfach die Bedingung, damit zwei gleichzeitige Lichtreize, R und r, einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied hervorrufen, nämlich:

$$t = (k - k_1 \log. R) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)} \right] = K_1$$

. . . . . Gleich. 28),

wo K_1 eine Konstante ist. Werden hierin die früher gefundenen Konstanten eingesetzt und als der wahrscheinliche Wert $K_1 = 60$ genommen, so erhält man für die hier gefundenen Werte des R/r die Formel:

$$(47{,}6 - 6{,}035 \log. R) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left(1 + \frac{0{,}042}{0{,}0362 + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right)} \right] = 60$$

. . . . . (Gleich. 29).

Löst man diese Gleichung mit Bezug auf R/r, so erhält man die in der Tab. 12 unter der Überschrift »ber. R/r« angegebenen Zahlen. Wie man sieht, weichen diese nur sehr wenig von den gefundenen R/r ab, und die Abweichungen sind ganz unregelmäfsig, indem einige Zahlen zu grofs, andere zu klein sind. Die Gleich. 29 gibt also wirklich mit grofser Annäherung die ver-

Digitized by Google

schiedenen Werte, welche die Unterschiedsempfindlichkeit dieses einzelnen Beobachters bei verschiedener Gröfse des R annimmt. Für andere Beobachter müssen in Gleich. 29 natürlich andere Konstanten aufgenommen werden, und somit werden auch die jedem gegebenen R entsprechenden Werte des R/r sich verändern.

Bevor wir weitergehen, wird es hier am Orte sein, in ein paar Worten zu erklären, wie man aus Gleich. 29 die jedem gegebenen R entsprechenden Verhältnisse R/r zu finden im stande ist. Da in der Gleichung nicht nur R/r, sondern auch r/R und log. (R/r) vorkommen, ist es natürlich unmöglich, aus derselben einen expliziten Ausdruck für R/r allein durch R und die Konstanten abzuleiten. Dies ist aber auch nicht notwendig, da man auf graphischem Wege R/r mit der gewünschten Genauigkeit ausmessen kann. Nach Gleich. 27 kann man Gleich. 29 in die Form: $\tau \cdot B = 60$ bringen, wo B die oben angegebene Bedeutung hat. Im Faktor B kommt aber nur R/r nebst verschiedenen Konstanten vor. Setzt man hierin also statt R/r eine Reihe verschiedener Werte, z. B. zwischen den Grenzen 1,005 und 2,200, ein, so kann man leicht berechnen, welche Werte B hierdurch annimmt, und diese zusammengehörenden Gröfsen R/r und B lassen sich graphisch abzeichnen. Dies ist in kleinem Mafsstabe Pl. II gezeigt. Als Abscissen sind hier die verschiedenen Werte des R/r, als Ordinaten die entsprechenden berechneten Werte des B abgesetzt. Die entstandene Kurve zeigt also, wie B mit R/r variiert, und folglich kann man an der Abscissenachse den jedem beliebigen Punkte der Kurve entsprechenden Wert des R/r ablesen. Dieses Ablesen läfst sich so genau machen, wie man wünscht, wenn man die Kurve nur in hinlänglich grofsem Mafsstabe zeichnet. Mittels dieser Kurve ist es nun nicht schwierig, die Gleich. 29 mit Bezug auf R/r zu lösen. Gibt man der Gleichung die Form: $\tau \cdot B = 60$, so ist B also $= 60/\tau$. In der Tab. 12 finden sich die den benutzten R entsprechenden Werte des τ, und dividiert man diese Gröfsen in 60, so erhält man die in der Kolonne $60/\tau$ angeführten Zahlen. Diese Zahlen sind mithin die verschiedenen Werte des B, und man braucht nun nur in der Kurve Pl. II diejenigen Punkte aufzusuchen, deren Ordinaten die Zahlen $B =$

Digitized by Google

60/τ sind; die entsprechenden Abscissen sind dann die gesuchten Werte des *R/r*. Im Pl. II entspricht 1 mm einem Unterschied von 0,01 in der Gröſse des *R/r*, und man kann daher noch eben einen Unterschied von 0,001 beurteilen; die Kurve, die ich zur Bestimmung der in Tab. 12 angeführten Zahlen für »ber. *R/r*« benutzte, war in viermal gröſserem Maſsstabe ausgeführt, so daſs die dritte Dezimale als zuverlässig betrachtet werden darf.

Die mathematische Formel, die das Abhängigkeitsverhältnis zwischen zwei Sinnesreizen ausdrückt, welche einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied hervorrufen, werde ich im Folgenden der Kürze wegen mit dem Namen des »Unterscheidungsgesetzes« bezeichnen. Eine höchst unvollkommene Formulierung des Unterscheidungsgesetzes haben wir in dem aus dem Weberschen Gesetze abgeleiteten Ausdruck: *R/r* = konst. Wenn das Webersche Gesetz im Laufe der Zeit der Gegenstand einer so auſserordentlich groſsen Anzahl von Untersuchungen gewesen ist, so rührt das wahrscheinlich groſsenteils von der Einfachheit der genannten Formel her. Man konnte ruhig losexperimentieren, die Bearbeitung des Versuchsmaterials bereitete keine groſse Mühe, da sie nur ein Minimum von Berechnung erforderte. Alle diese Untersuchungen haben mit hinlänglicher Deutlichkeit dargethan, daſs die genannte Form des Unterscheidungsgesetzes durchaus ungenau ist; streng genommen hat sie sich nirgends als gültig erwiesen. Hierüber können wir uns nun nicht wundern, da wir in Gleich. 28 einen wenigstens annähernd genauen Ausdruck für das Unterscheidungsgesetz auf dem Gebiete des Lichtsinnes gewonnen haben. Daſs diese Formel indes nicht für alle Sinnesgebiete gilt, läſst sich schon jetzt mit Sicherheit vorhersagen. Denn es kommt in der Formel ein Faktor vor, welcher der Ausdruck für den gegenseitigen Kontrast der beiden gleichzeitigen Lichtreize ist. Auf den Gebieten anderer Sinne, z. B. auf dem des Gehörs, wo wir nicht mit gleichzeitigen Reizen operieren können, wird auch kein simultaner Kontrast stattfinden können, und folglich muſs der Ausdruck für die Kontrastwirkung aus der Formel entfernt werden. Dafür werden aber wahrscheinlich andere Momente auftreten, die ganz anderen

Gesetzen unterworfen sind, und die mit in Anschlag gebracht werden müssen, wenn wir auf diesen Gebieten eine genaue Formel für das Unterscheidungsgesetz suchen. Dafs das Webersche Gesetz sich also überall als unzulänglich erwiesen hat, rührt kurz und gut davon her, dafs es die Verhältnisse in gar zu grofsem Mafse vereinfacht. Wünscht man eine genaue Formel, so mufs man die vielen verschiedenen Momente, die auf den verschiedenen Sinnesgebieten zur Geltung kommen, mit in Betracht ziehen. Hieraus folgt aber wahrscheinlich, dafs man für jedes andere Sinnesgebiet einen speziellen Ausdruck für das Unterscheidungsgesetz erhält[1].

Dem sei nun, wie ihm wolle; streng genommen wird dadurch, dafs man ein und dasselbe Gesetz auf allen Gebieten gültig findet, doch nicht viel gewonnen sein. Weit schlimmer ist es, wenn die verschiedenen Formeln wahrscheinlich so kompliziert werden, dafs man ihre Gültigkeit meistens gar nicht zu prüfen im stande ist. Selbst wenn man auf anderen Sinnesgebieten auf Umwegen zu einer vollständigen Formel für das Unterscheidungsgesetz gelangen könnte, so wie es uns hier glückte, würde eine nähere Prüfung von deren Gültigkeit eine äufserst mühselige Arbeit werden. Mit Gleich. 28 vor Augen ist dies leicht zu verstehen. Dafs diese wirklich ein ziemlich genauer Ausdruck für die Variationen meiner individuellen Unterschiedsempfindlichkeit ist, vermochte ich nachzuweisen, weil die in der Gleichung vorkommenden Konstanten bekannt sind. Zu prüfen, ob das Gesetz auch für andere Beobachter gilt, über deren Unterschiedsempfindlichkeit Messungen vorliegen, wird aber so ziemlich unmöglich sein. Denn in der Gleich. 28 kommen nicht weniger als sechs Konstanten vor, und es ist anzunehmen, dafs sie alle mit der Versuchsperson variieren. Und mit Sicherheit wissen

[1] Für Schallempfindungen wird später eine spezielle Formel entwickelt werden. Was die Gewichtsempfindungen betrifft, mufs die Formel offenbar sehr kompliziert werden, wenn sie die generellen und typischen Tendenzen umfassen soll, die hier ähnlichen Einflufs üben wie der Kontrast auf dem Gebiete des Lichtsinnes. Vgl. L. Martin und G. E. Müller: Zur Analyse der Unterschiedsempfindlichkeit. Leipzig 1899.

wir jedenfalls, dafs diese Konstanten sich mit den Versuchsverhältnissen verändern. So sind die Konstanten k und k_1 von der Einheit abhängig, durch welche die angewandten Lichtreize ausgedrückt sind; diese Gröfsen variieren also mit dem absoluten Werte der Beleuchtung. Ferner sind α, β und γ von allen denjenigen Faktoren abhängig, welche auf die Gröfse des Kontrastes Einflufs haben, und K_1 wird dann wahrscheinlich von sämtlichen genannten Umständen im Verein abhängig sein. Nun kommen diese Konstanten in der Gleichung zugleich auf solche Weise vor, dafs ihre Bestimmung mittels der Methode der kleinsten Quadrate für eine vorliegende Reihe von Messungen über die Unterschiedsempfindlichkeit in der Praxis so gut wie unmöglich sein wird. Es eröffnen sich künftigen Forschern auf diesem Gebiete also keine besonders glänzenden Aussichten: diejenigen Gesetze, deren Gültigkeit sich prüfen läfst, erweisen sich als unrichtig, und diejenigen Gesetze, welche wahrscheinlich richtig sind, sind zugleich so kompliziert, dafs ihre Gültigkeit sich nicht prüfen läfst.

Für den Augenblick sehe ich mich deshalb nicht im stande, einen exakten Beweis dafür zu liefern, dafs Gleich. 28 wirklich für andere Beobachter gilt. Bedenkt man aber, auf welche Weise wir zu dieser Formel gelangten, so läfst sich an ihrer Gemeingültigkeit wohl kaum Zweifel erheben. Gleich. 28 ist nämlich ja nur der Ausdruck für die Periodenkonstante t (Gleich. 25), die sich in den speziellen Fällen, wo R und r ebenmerkliche Empfindungsunterschiede hervorrufen, gleich einer Konstanten erweist. Da meine Resultate mit Bezug auf die kritische Periode der rotierenden Scheiben mit dem übereinstimmen, was von der Hand anderer Forscher über diesen Punkt vorliegt, so ist Gleich. 25 zweifelsohne gemeingültig. Überdies ist es höchst wahrscheinlich, dafs man $t = K_1$ haben mufs, wenn zwischen den Sektoren ein ebenmerklicher Unterschied stattfindet. Denn ist der Unterschied zwischen den Sektoren ursprünglich ebenmerklich, so wird ein Minimum von Licht, das sich von dem helleren über den dunkleren Sektor verbreitet, hinlänglich sein, um ihren Unterschied unmerklich zu machen. Eine solche minimale Steigerung der Helligkeit des dunkleren Sektors mufs aber gerade

Digitized by Google

bei einer ganz bestimmten Rotationsgeschwindigkeit eintreten, die von der absoluten Helligkeit des helleren Sektors unabhängig ist. Es liegt also aller mögliche Grund für die Annahme vor, dafs der in der Gleich. 28 gegebene Ausdruck für das Unterscheidungsgesetz für Lichtempfindungen gemeingültig sein mufs. Und dies wird noch wahrscheinlicher, wenn man die Werte, welche andere Forscher für ihre Unterschiedsempfindlichkeit fanden, mit den meinigen vergleicht. Soweit mir bekannt, sind die beiden ausführlichsten bis jetzt vorliegenden Versuchsreihen dieser Art die von Aubert[1] und König[2] ausgeführten. Ein Vergleich der Resultate dieser beiden Forscher mit meinen eignen — sowohl den gefundenen als den berechneten — ist in der Tab. 13 gegeben.

Tab. 13.

R	Aubert	König	Lehmann gef.	Lehmann ber.
500 000		1,017		
200 000	1,007	1,018	1,008	1,008
100 000	1,008	1,018	1,009	1,009
35 000	1,010		1,011	1,014
20 000	1,015	1,018		
5 000	1,022	1,030		
1 000		1,042	1,025	1,032
600	1,030			
500		1,048		
350	1,037		1,034	1,045
100	1,040	1,093	1,091	1,068
10	1,091	1,282	1,202	1,183
5	1,125	1,377		
3,5			1,291	1,389
1	1,333	1,700	2,180	1,887

[1] Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. S. 62.

[2] König und Brodhun, Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel. 2. Mitteilung. Sitzungsberichte der Akademie zu Berlin. 1889. Vgl. Helmholtz, Physiologische Optik. 2. Aufl. 1896. S. 408. Da Brodhuns Messungen in allem Wesentlichen dasselbe Resultat ergaben wie die von König angestellten, führe ich hier nur die eine Versuchsreihe an. Sonderbar ist es, dafs die maximale Unterschiedsempfindlichkeit beider genannten Forscher weit hinter dem zurücksteht, was andere gefunden haben. Dies scheint zunächst anzudeuten, dafs die angewandte Versuchsanordnung trotz des sinnreichen photometrischen Apparats dennoch nicht ganz zweckmäfsig war. Vgl. Simon, Über die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden. Zeitschr. f. Psych. Bd. 21. S. 440.

Eine kleine Schwierigkeit beim Vergleich bereitet der Umstand, dafs die Einheit, von der man bei der Bestimmung der Lichtstärke ausging, bei allen drei Versuchsreihen eine verschiedene ist, und wir besitzen nicht einmal hinlängliche Daten, um diese Einheiten auf ein gemeinschaftliches Mafs zu reduzieren. Dies ist glücklicherweise aber auch nicht nötig, da es nur darauf ankommt, die Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit mit der Lichtstärke, nicht aber deren Gröfse bei gegebener absoluter Intensität des Lichtes einem Vergleich zu unterwerfen. Für alle drei Versuchsreihen nahm ich deshalb als Einheit den niedrigsten Wert des R, bei welchem eine Messung ausgeführt wurde, und reduzierte demgemäfs die Zahlen. Alle Angaben Auberts über R sind daher mit 5 dividiert, Königs Angaben mit 50 multipliziert und meine eignen mit 9 dividiert; die unter der Überschrift R in der Tab. 13 gegebenen Gröfsen sind also nur Quotientzahlen. Die Tabelle zeigt uns also, wie die Unterschiedsempfindlichkeit bei den drei Beobachtern variierte, indem die Lichtstärke von der niedrigsten angewandten Gröfse an bis zur 5-, 10-, 100- u. s. w. fachen Stärke anwuchs. Und diese Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit haben bei den drei Beobachtern einen im ganzen so gleichartigen Verlauf, dafs es wohl keinen Zweifel erleiden kann, dafs Gleich. 28, nur mit geringer Veränderung der Gröfse der Konstanten, für sie alle gültig ist.

Hierzu ist jedoch noch eins zu bemerken. König dehnte seine Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit bis zu einer Gröfse des R aus, die 100mal gröfser ist als der höchste in der Tab. 13 angegebene Wert. Hierdurch findet er, dafs die Unterschiedsempfindlichkeit anfangs einige Zeit hindurch konstant ist, worauf sie bei den höchsten Intensitäten wieder abnimmt. Es ist eine längst bekannte Sache, dafs die Unterschiedsempfindlichkeit ihr Maximum keineswegs bei der höchsten Lichtstärke hat, die das Auge überhaupt ertragen kann, sondern bei einer bedeutend geringeren Intensität. Diese Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit bei sehr grofsen Werten des R geht nicht aus Gleich. 28 hervor, die bei anwachsendem R zu immer mehr abnehmenden

Digitized by Google

Werten des R/r, mithin zu fortwährender Steigerung der Unterschiedsempfindlichkeit führt. Gleich. 28 ist insofern also unrichtig oder unvollständig. Der Grund hierfür liegt natürlich darin, daſs der Ausdruck für die Periodenkonstante t, aus welchem die Gleichung abgeleitet wurde, auch bei sehr groſsen Werten des R keine richtigen Werte des t gibt. Daſs ich die Untersuchungen nicht bis zu maximalen Gröſsen des R durchführte, geschah jedoch mit gutem Bedacht. Bei den groſsen Lichtstärken, wo die Unterschiedsempfindlichkeit abzunehmen beginnt, treten nach meinen persönlichen Erfahrungen stets die eigentümlichen Empfindungen ein, die man in der täglichen Rede die »Blendung des Auges« nennt. Worauf diese »Blendung« und die begleitenden unangenehmen oder sogar schmerzlichen Blendungsempfindungen eigentlich beruhen, das wissen wir nicht; nähere Untersuchungen darüber scheinen nicht vorzuliegen. Helmholtz sagt hierüber nur: »Die Abweichung von dem (Weberschen) Gesetze an der oberen Grenze könnte man mit Fechner wohl darauf schieben, daſs das Organ zu leiden anfängt. Die inneren Veränderungen im Nerven, welche den Eindruck des Reizes auf das Gehirn übertragen, können eben eine bestimmte Gröſse nicht überschreiten, ohne das Organ zu schädigen, und jeder Wirkung des Reizes ist daher eine obere Grenze gesetzt, welcher ein Maximum der Empfindungsstärke entsprechen muſs[1].«

Die Richtigkeit dieser Bemerkungen läſst sich wohl kaum bezweifeln. Sie stimmen ganz mit meinen Beobachtungen überein, daſs die Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit von unangenehmen Blendungsempfindungen begleitet wird, welche andeuten, daſs das Gesichtsorgan unter den gewaltigen Reizen leidet. Das Organ vermag die von ihm verlangte Arbeit nicht zu leisten; die physiologischen Prozesse verlaufen nicht mehr auf dieselbe Weise wie bei schwächeren Reizen. Unter den veränderten Verhältnissen kann man aber nicht erwarten, daſs ein Gesetz, das sich bisher als gültig erwies, seine Gültigkeit behalten sollte. Indem neue Momente hinzutreten, müssen diese, nach be-

[1] Physiologische Optik. 2. Aufl. 1896. S. 390.

stimmten Gesetzen, in die vorher bestehenden Verhältnisse störend eingreifen. Die Richtigkeit dieser Betrachtungen werde ich später auf einem ganz anderen Gebiete darlegen, wo wir, ohne gröſseren Schaden anzurichten, die Wirkungen zu untersuchen vermögen, die sehr nahe an der Grenze des dem Organismus Erträglichen liegen. Hier hebe ich dies nur hervor, um darauf aufmerksam zu machen, daſs ich die Unvollständigkeit der in Gleich. 28 gegebenen Formel für das Unterscheidungsgesetz keineswegs übersehen habe. Dieselbe gilt für unsere Lichtempfindungen nur, solange die Verhältnisse wesentlich dieselben bleiben, nämlich bis das Auge geblendet wird. Daſs ich die Untersuchungen nicht weiterführte, rührt erstens von dem praktischen Umstande her, daſs ich es nicht wagte, meinen Augen eine so anstrengende Arbeit zuzumuten. Ferner auch von der theoretischen Ansicht, daſs man unter neuen Verhältnissen neue Gesetze zu finden erwarten muſs oder allenfalls gesetzmäſsige Eingriffe in die vorher gültigen, so daſs es völlig berechtigt ist, jede einzelne Phase für sich zu studieren. Die Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit ist eine Phase für sich, die sich allein behandeln läſst, weil wir hier gar nichts mit den Verhältnissen zu schaffen haben, die deren Abnahme bei sehr starken Reizen bedingen.

In einer interessanten kleinen Abhandlung: »Über den Grund der Abweichungen von dem Weberschen Gesetz bei Lichtempfindungen«[1] hat Ebbinghaus die vorliegende Frage behandelt. Der Schluſsbemerkung der Abhandlung: »Die sogenannten Abweichungen von dem Weberschen Gesetz werden .... für eine photochemische Theorie von der Einwirkung des Lichts auf das Auge ein völlig begreifliches und selbst ganz gesetzmäſsiges Phänomen«, kann ich durchaus beistimmen. Im folgenden Abschnitte werde ich nachweisen, wie man das Unterscheidungsgesetz auf rationelle Weise aus bekannten photochemischen und physiologischen Gesetzen abzuleiten im stande ist. Insofern bin ich also mit Ebbinghaus ganz einig. Sonst bin ich mit ihm prinzipiell uneinig, namentlich was die Erklärung der

[1] Pflügers Archiv für Physiologie. Bd. 45.

Digitized by Google

oberen Abweichung vom Weberschen Gesetze betrifft. Ebbinghaus sucht darzulegen, dafs die intramolekularen Atombewegungen in der Netzhaut bei anwachsenden Lichtreizen ganz ebenso variierten, wie die Unterschiedsempfindlichkeit nach Königs und Brodhuns empirischen Ergebnissen variiert. Die Lichtempfindungen sollten also den photochemischen Vorgängen in der Netzhaut proportional werden; diese wären deshalb ausschliefslich als die Ursache der Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit zu betrachten. Es scheint mir nun erstens ziemlich gewagt, ein Gesetz, das für Geschwindigkeiten der Moleküle in einer Gasart gilt, auf die organisierte Netzhaut zu übertragen. Selbst wenn man dieser Ansicht beitreten wollte, bleibt aber ja doch ein Punkt zurück, wo die Erklärung nicht stichhaltig ist. Solange die Stärke der Lichtreize keine gröfseren Forderungen an den Organismus stellt, als dieser zu erfüllen vermag, verwehrt uns nichts, uns zu denken, dafs im Zentralorgane psychophysische Prozesse ausgelöst würden, die den Atombewegungen in der Netzhaut proportional wären. Werden die Lichtreize aber so stark, dafs der Organismus unter denselben leidet, so kann dies nur eins von beiden bedeuten: entweder wollen die Atombewegungen in der Netzhaut nicht mehr dem Maxwellschen Gesetze gehorchen, oder auch vermag der Sehnerv die heftigen Reize nicht bis ins Gehirn zu befördern. Welchen Ausweg man auch wählen möchte, mufs das Resultat meiner Meinung nach das werden, dafs die Unterschiedsempfindlickeit nicht den durch das Maxwellsche Gesetz ausgedrückten Atombewegungen proportional variieren kann. Scheint eine derartige Proportionalität nichtsdestoweniger zu bestehen, so kommt dies wohl von einer zufälligen Ähnlichkeit der Maxwellschen Kurve mit der Kurve her, die den genauen Ausdruck für die Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit gibt. Hierin liegt nichts Merkwürdiges. Zwei Kurven können sich sehr ähnlich sein, obwohl ihre Gleichungen äufserst verschieden sind. Es kann wohl keinen Zweifel erleiden, dafs Gleich. 28 für die von König gefundenen Werte der Unterschiedsempfindlichkeit gültig ist, und folglich mufs die der Gleich. 28 entsprechende Kurve fast ganz mit dem an-

Digitized by Google

steigenden Aste der Maxwellschen Kurve zusammenfallen, weil gerade Königs Messungen von Ebbinghaus benutzt wurden, um die Bedeutung der Maxwellschen Kurve für dieses Gebiet nachzuweisen. Der Umstand, dafs die Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit anscheinend dem Maxwellschen Gesetze unterstehen, genügt also nicht, um darzuthun, dafs die physischen Verhältnisse, für die das Maxwellsche Gesetz gilt, auch die Ursache der Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit sind. Es können sich thatsächlich ganz andere Ursachen geltend machen, die aber dennoch zu einem ähnlichen Resultate führen. In einem folgenden Abschnitte werden wir nachweisen, dafs das durch Gleich. 28 ausgedrückte Unterscheidungsgesetz sich wirklich als Resultat des Zusammenwirkens mehrerer bekannter physischer und physiologischer Prozesse erklären läfst.

Ebbinghaus' Fehler besteht also meines Erachtens darin, dafs er die Sache gar zu sehr von einem physischen Standpunkte betrachtet; die physiologischen Verhältnisse berücksichtigt er durchaus nicht. Dies macht sich namentlich fühlbar, wenn man die Erklärung auf andere Sinnesgebiete übertragen will. Hinsichtlich der Schallempfindungen z. B. zeigt die Unterschiedsempfindlichkeit ähnliche Variationen wie hinsichtlich der Lichtempfindungen; wie läfst sich hier aber die Ebbinghaussche Erklärung durchführen? Es kann hier doch wohl von photochemischen Prozessen keine Rede sein, die rein physischen Gesetzen gehorchen, mithin von aller organischen Struktur unabhängig sind. Die nämlichen Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit müssen also mit Bezug auf das Gehör eine ganz andere Erklärung verlangen. Wie wir später sehen werden, besteht zwischen den zentralen Innervationen und der Muskelarbeit ein ganz ähnliches Abhängigkeitsverhältnis wie zwischen dem physischen Reize und der Empfindung. Hier scheint eine physische Erklärung ohne Berücksichtigung der physiologischen Verhältnisse noch weniger am Platze zu sein. Ebbinghaus' Erklärung ist also höchst einseitig: sie läfst sich nur auf einem einzigen Sinnesgebiete durchführen. Ich bin deshalb am meisten zu der Ansicht geneigt, dafs sie in der Realität gar keine Erklärung ist; sie ist nur der Nach-

weis der zufälligen, allerdings ganz merkwürdigen Übereinstimmung eines physischen Gesetzes mit einer sehr komplizierten psychophysiologischen Erscheinung.

Prüfung des Unterscheidungsgesetzes mittels der Methode der mittleren Abstufungen. Wir sahen oben, dafs einem ebenmerklichen Unterschied zwischen den Sektoren einer rotierenden Scheibe ein konstanter Wert der Periodenkonstante entspricht. Das heifst mit anderen Worten: die kritische Periode der Scheibe ist konstant, ist von den absoluten Helligkeiten der Sektoren unabhängig, wenn sie anfänglich einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied hervorrufen. Die Annahme liegt deshalb nahe, dafs ein solcher konstanter Wert der Periode nicht nur für ebenmerkliche Empfindungsunterschiede, sondern auch für alle beliebigen gleichgrofsen Empfindungsdifferenzen zu finden ist. Es seien d, v und h drei verschiedene Helligkeiten, wo $d < v < h$; die hierdurch hervorgerufenen Empfindungen bezeichnen wir E_d, E_v und E_h. Ferner denken wir uns d, v und h so gewählt, dafs: $E_v - E_d = E_h - E_v$. Zwischen d und v ist also dieselbe Empfindungsdifferenz wie zwischen v und h. Entsprechen nun den gleichgrofsen Empfindungsunterschieden gleichgrofse Periodenkonstanten, so sollte man also der Gleich. 25 zufolge haben:

$$t = (k - k_1 \log. v) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{v}{d} - 1\right)\left(1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{v}{d}} \cdot \frac{d}{v}\right)} \right] =$$

$$(k - k_1 \log. h) \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{h}{v} - 1\right)\left(1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{h}{v}} \cdot \frac{v}{h}\right)} \right]$$

. . . . (Gleich. 30).

Die Gültigkeit dieser Gleichung für Beobachter zu prüfen, deren Konstanten wir nicht vorher auf anderem Wege kennen, ist natürlich ein Ding der Unmöglichkeit. Es würde daher auch ziemlich hoffnungslos sein, die Frage nach der Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen an diesem Punkte zu erheben, wenn wir Gleich. 30 nicht recht bedeutend vereinfachen könnten.

Hier haben wir aber einen der Fälle, wo wir statt Gleich. 25 die Gleich. 17 mit Erfolg anwenden können. Benutzen wir diesen einfacheren Ausdruck, so wird Gleich. 30:

$$t = k - k_1 \log. v + C \frac{d}{v} = k - k_1 \log. h + C \frac{v}{h},$$

woraus folgt:

$$\frac{d}{v} = \frac{v}{h} - \frac{k_1}{C} (\log. h - \log. v) \quad \ldots \quad \text{(Gleich. 31).}$$

Setzt man hier $k_1/C = K_2$, so erhält man:

$$d = \frac{v^2}{h} - K_2 (\log. h - \log. v)\, v \quad \ldots \quad \text{(Gleich. 32).}$$

Es ist natürlich nicht zu erwarten, dafs Gleich. 32 völlige Genauigkeit geben sollte, vor Gleich. 30 hat sie aber das voraus, dafs sie sich leicht prüfen läfst, so dafs sich entscheiden läfst, ob sie oder ob das Webersche Gesetz am besten mit den Versuchsresultaten übereinstimmt. Aus dem Weberschen Gesetze folgt nämlich:

$$\frac{d}{v} = \frac{v}{h}, \text{ also } d = \frac{v^2}{h}.$$

Als Grundlage der Prüfung benutzte ich Delboeufs Tab. III[1], die, wie früher nachgewiesen[2], als die zuverlässigste seiner Versuchsreihen zu betrachten ist. Da diese klassischen Versuche dem Weberschen Gesetze einst so grofse Stütze gewährten, lag es ja nahe, zu untersuchen, ob sie denn doch nicht besser mit dem hier formulierten Unterscheidungsgesetze übereinstimmen sollten. Eine Übersicht über die Berechnungen ist in der Tab. 14 gegeben.

(Siehe Tab. 14 S. 77.)

Die Kolonnen d, v und h geben die gemessenen Gröfsen der Reize an; als wahrscheinlicher Wert der Konstante K_2 wurde 0,0588 gefunden; die in der Kolonne »ber. d« angeführten Zahlen wurden also berechnet aus der Gleichung:

$$d = \frac{v^2}{h} - 0{,}0588 (\log. h - \log. v)\, v.$$

[1] Étude psychophysique. Bruxelles 1878. S. 62.
[2] Phil. Stud. Bd. III. S. 515.

Digitized by Google

Tab. 14.

d	v	h	d ber.	f	$\frac{v^2}{h}$	$\frac{v^2}{h} - d$
9	47	243,4	7,1	+ 1,9	9,1	+ 0,1
13	27	55,2	12,7	+ 0,3	13,2	+ 0,2
13	36	94,8	12,8	+ 0,2	13,7	+ 0,7
13	41	123,4	12,5	+ 0,5	13,6	+ 0,6
13	56	235,8	11,2	+ 1,8	13,3	+ 0,3
21	60	157,0	21,5	— 0,5	22,9	+ 1,9
21	64	175,8	21,7	— 0,7	23,3	+ 2,3
22	36	56,8	22,4	— 0,4	22,8	+ 0,8
22	51	107,4	23,3	— 1,3	24,2	+ 2,2
22	58	139,2	22,9	— 0,9	24,2	+ 2,2
22	66	183,2	22,1	— 0,1	23,8	+ 1,8
43	64	94,0	43,0	0,0	43,6	+ 0,6
43	72	119,8	42,3	+ 0,7	43,3	+ 0,3
43	87	168,8	43,4	— 0,4	44,8	+ 1,8

Die Abweichungen der gefundenen von den berechneten Werten des d sind unter der Überschrift f gegeben. Wie man sieht, sind diese Fehler nicht grofs, und überdies fallen sie ziemlich gleichmäfsig nach positiver und negativer Richtung. Des Vergleiches wegen berechnete ich d auch aus dem Weberschen Gesetze: $d = v^2/h$ und ebenfalls die Abweichung der somit gefundenen Zahlen von den gemessenen d; diese Gruppen von Zahlen stehen in den beiden letzten Kolonnen. Die Fehler gehen, wie ersichtlich, in betreff des Weberschen Gesetzes ausschliefslich in positiver Richtung; zudem sind sie durchweg gröfser als die Fehler, die unter der Voraussetzung eintreffen, dafs Gleich. 32 gültig ist. Für letztere ist die totale Fehlersumme: $\Sigma \pm f = 9{,}46$, während sie für die nach dem Weberschen Gesetze berechneten Zahlen 15,76, also gegen doppelt so grofs ist. Es scheint daher keinem Zweifel zu unterliegen, dafs die in Gleich. 32 gegebene Formel des Unterscheidungsgesetzes mit Delboeufs Versuchen übereinstimmt.

Es war indes nun nicht Gleich. 32, sondern die sehr komplizierte Gleich. 30, deren Gültigkeit dargethan werden sollte. Der Unterschied zwischen diesen Gleichungen beruht aber darauf, dafs erstens in der Gleich. 32 der Kontrast nicht berücksichtigt wurde — was hier übrigens auch von untergeordneter Bedeutung ist —, und dafs ferner die Gröfse K_2 als Konstante betrachtet wurde, was sie thatsächlich nicht ist. Wir setzten nämlich ja

$k_1/C = K_2$, C ist aber eine Gröfse, die mit v bezw. h anwächst, was aus den Bemerkungen zu Gleich. 17 hervorgeht (siehe S. 43). Die Folge hiervon wird, dafs Gleich. 32 sich als um so ungenauer erweisen mufs, je mehr v und h voneinander abweichen. Eben dies geht aber aus Tab. 14 hervor. Man wird hier sehen, dafs die gröfsten Fehler (f) auf diejenigen Fälle kommen, wo v und h an Gröfse sehr verschieden sind. Folglich müfste es sich erweisen, dafs Gleich. 30, wenn wir im stande wären, sie zu prüfen, noch besser mit Delboeufs Messungen übereinstimmen würde.

Bevor wir jedoch konstatieren können, dafs die hier entwickelte Form des Unterscheidungsgesetzes wirklich gültig ist, müssen wir noch einen Punkt aufklären. Bekanntlich glaubte Merkel durch seine Untersuchungen der Lichtempfindungen nach der Methode der mittleren Abstufungen gefunden zu haben, dafs gleichgrofsen Empfindungsunterschieden — nicht gleichgrofse Quotienten, sondern — gleichgrofse Differenzen der Reize entsprächen[1]. Mit den hier angewandten Bezeichnungen sollte man also haben $v - d = h - v$, wenn $E_v - E_d = E_h - E_v$. Merkel findet dieses Gesetz freilich nicht genau übereinstimmend, meint aber, es passe jedenfalls besser als das Webersche. Um zu prüfen, wie es sich hiermit verhält, stellte ich auf Grundlage der ausführlichsten Versuchsreihe Merkels[2] Berechnungen an, die ganz denjenigen entsprachen, welche oben mit Bezug auf Delboeufs Versuche durchgeführt wurden. Die Resultate gebe ich in der Tab. 15, deren ersten drei Kolonnen die gemessenen Werte der Reize d, v und h enthalten. Berechnet man aus diesen Gröfsen den wahrscheinlichen Wert der Konstante K_2 in Gleich. 32, so erhält man $K_2 = 0{,}5741$, worauf d sich berechnen läfst aus der Gleichung:

$$d = \frac{v^2}{h} - 0{,}5741\,(\log. h - \log. v)\; v.$$

Die solchergestalt gefundenen Werte sind unter der Überschrift »d ber.« gegeben; unter f findet man die Abweichungen von den gemessenen d.

[1] Phil. Studien. Bd. IV. S. 569.
[2] Ibid. Tab. IX. S. 567.

Digitized by Google

Tab. 15.

d	v	h	d ber.	f	$\frac{v^2}{h}$	$\frac{v^2}{h} - d$	$2v - h$
0,5	8,3	32	— 0,64	+ 1,14	2,15	+ 1,65	— 15,4
0,5	5,45	16	0,39	+ 0,11	1,86	+ 1,36	— 5,1
0,5	2,98	8	0,38	+ 0,12	1,11	+ 0,61	— 2,04
0,5	1,86	4	0,51	— 0,01	0,86	+ 0,36	— 0,28
0,5	1,166	2	0,52	— 0,02	0,68	+ 0,18	+ 0,332
0,5	0,721	1	0,46	+ 0,04	0,52	+ 0,02	+ 0,442
24	472,3	1536	6,3	+ 17,7	145,2	+ 121,2	— 591,4
24	293,8	768	42,0	— 18,0	112,4	+ 88,4	— 180,4
24	157,7	384	29,8	— 5,8	64,8	+ 40,8	— 68,6
24	93,6	192	28,9	— 4,9	45,6	+ 21,6	— 4,8
24	58,21	96	28,0	— 4,0	35,3	+ 11,3	+ 20,42
24	39,79	48	31,1	— 7,1	33,0	+ 9,0	+ 31,58

Ferner sind die nach dem Weberschen Gesetze berechneten $d = v^2/h$ und die Abweichungen dieser Zahlen von den gemessenen Werten des d angegeben. Wir vergleichen nun vorerst das Unterscheidungsgesetz mit dem Weberschen Gesetze. Man sieht, dafs die unter f angeführten Fehler durchweg ziemlich klein und zwar teils positiv, teils negativ sind, während die Abweichungen vom Weberschen Gesetze $(v^2/h) - d$ ausschliefslich positiv und überall gröfser sind. Es erleidet also keinen Zweifel, dafs auch Merkels Versuche besser mit Gleich. 32 als mit dem Weberschen Gesetze übereinstimmen. Ferner erweist sich hier dasselbe wie durch Delboeufs Messungen: je gröfser der Unterschied zwischen v und h ist, um so gröfser sind auch die Abweichungen der berechneten von den gemessenen Werten des d. Dies deutet nun wieder darauf hin, dafs Gleich. 30 mit den Messungen besser übereinstimmen mufs als Gleich. 32. — Hierauf kehren wir uns gegen Merkels Ansicht, dafs die Gleichung $v - d = h - v$ der genaueste Ausdruck für das Verhältnis zwischen den drei Reizen sein sollte. Aus dieser Gleichung folgt: $d = 2v - h$; die auf diese Weise berechneten Zahlen sind in der letzten Kolonne der Tab. 15 angeführt. Wie man sieht, sind diese Zahlen durchaus unsinnig; durchweg zeigen sie kolossale Abweichungen von den gemessenen Werten des d und kommen diesen nur ausnahmsweise so nahe wie die nach dem Weberschen Gesetze berechneten Werte. Merkel hätte ganz sicher die Behauptung nicht auf-

Digitized by Google

stellen können, dafs sein Gesetz gültig sei, hätte er nur eine so einfache Berechnung ausgeführt. Statt dessen stellte er mittels einiger relativen Fehlerbestimmungen einen Vergleich seines Gesetzes mit dem Weberschen an; ich mufs aber gestehen, dafs ich durchaus nicht weifs, auf welche mathematischen Prinzipien er seine Berechtigung hierzu stützt. Ich vermag nicht anders zu sehen, als dafs die Gültigkeit eines Gesetzes sich nur dadurch beweisen läfst, dafs die aus dem Gesetze berechneten Zahlen mit den wirklich gefundenen übereinstimmen, und dasjenige Gesetz mufs als das richtigste angesehen werden, welches die gröfste Übereinstimmung der Berechnung mit der Messung gibt. Denn was mit einer mathematischen Formel bezweckt wird, ist ja gerade die Berechenbarkeit der Erscheinung, für die das Gesetz aufgestellt ist. Da die aus Merkels Formel berechneten Gröfsen überhaupt durchaus keine Annäherung an die gemessenen zeigen, läfst sich dieser Formel auch keine Bedeutung beilegen.

Als Resultat dieser Untersuchungen können wir jetzt also folgende Sätze aufstellen:

Gleichgrofsen Empfindungsunterschieden entsprechen weder gleichgrofse Differenzen noch gleichgrofse Quotienten der Reize.

Dagegen wird es sich erweisen, dafs die Reize mit einer für den praktischen Gebrauch genügenden Genauigkeit folgende Formel befriedigen:

$$\frac{d}{v} = \frac{v}{h} - K_2 (\log. h - \log. v).$$

Diese Gleichung wird jedoch um so weniger genau, je gröfser der Unterschied zwischen den beiden gröfsten Reizen, v und h, ist.

Letzterer Umstand deutet darauf hin, dafs nicht die angeführte Gleichung, sondern das in Gleich. 30 gegebene, komplizierte Abhängigkeitsverhältnis sich zwischen den drei Reizen geltend macht, wenn diese gleichgrofse Empfindungsunterschiede hervorrufen. Hieraus folgt dann wieder, dafs die hypothetische Voraussetzung, von der wir ausgingen, nämlich dafs gleichgrofsen Empfindungsunterschieden gleichgrofse Periodenkonstanten entsprächen, in der That richtig ist. Und da

Digitized by Google

wir oben fanden, dafs einem ebenmerklichen Empfindungsunterschiede eine von der absoluten Helligkeit der Sektoren unabhängige Periodenkonstante entspricht, so können wir diese Thatsachen in folgenden Satz zusammenfassen:

Jedem gegebenen Empfindungsunterschied von konstanter Gröfse, einerlei ob derselbe ebenmerklich oder übermerklich ist, entspricht stets ein von der absoluten Helligkeit der Sektoren unabhängiger Wert der Periodenkonstante.

Marbe hat offenbar eine Ahnung von diesem Verhältnisse gehabt, vermochte aber nicht, es mit seinen übrigen Resultaten in Übereinstimmung zu bringen. Er findet nämlich: »Die Werte der kritischen Periodendauern werden im wesentlichen durch die objektiven, nicht durch die subjektiven Unterschiede der beiden Reize bestimmt. Gleichen objektiven Unterschieden entsprechen ungefähr gleiche kritische Periodedauern[1].« Anderseits erweist es sich indes, dafs auch der subjektive Unterschied der Reize Einflufs auf die Zeit hat. Zwischen diesen Resultaten: dafs sowohl gleichen objektiven als gleichen subjektiven Unterschieden konstante Werte der kritischen Periode entsprechen, findet er einen Widerspruch, was ganz natürlich ist, da eines das andere ausschliefst. Wenn Marbe diesen Widerspruch nicht zu lösen vermag, liegt das einfach darin, dafs er seine Resultate nicht zum Gegenstand einer mathematischen Behandlung macht, sondern sich damit begnügt, dergleichen sonderbare Sätze aufzustellen, wie: »Gleichen objektiven Unterschieden entsprechen ungefähr u.s.w.« Hier liegt der Fehler. Das Verhältnis der kritischen Periode zu den Reizen ist, wie wir wissen, ein weit komplizierteres; der genaue Ausdruck wurde in Gleich. 25 gegeben. Dagegen ist es, wie wir ebenfalls sahen, eine Thatsache, dafs gleichgrofsen Empfindungsunterschieden stets gleichgrofse kritische Perioden entsprechen. Hier ist faktisch also keine Spur von Widerspruch; nur in Marbes unmathematischer Behandlung der Sache sieht es so aus.

[1] Phil. Stud. Bd. XIII. S. 114–115.

Digitized by Google

RATIONELLE ABLEITUNG DES UNTERSCHEIDUNGSGESETZES FÜR LICHTEMPFINDUNGEN.

Wenn Lichtstrahlen in eine nicht völlig durchstrahlbare Platte eindringen, wird ein Teil des Lichtes absorbiert werden. Wie sehr das Licht geschwächt wird, ist natürlich von der Natur des Stoffes und der Dicke der Platte abhängig, man hat indes gefunden, dafs in einer Schicht von bestimmter Dicke und bestimmtem Stoffe stets ein konstanter Bruchteil der eindringenden Lichtmenge zurückgehalten wird. Denjenigen Bruchteil des Lichtes, der in einer Schicht von der Dicke 1 zurückgehalten wird, nennt man den Absorptionskoeffizienten. Bezeichnen wir diesen durch ε und die Stärke des eindringenden Lichtes durch R, so wird in einer Schicht von der Dicke 1 folglich die Lichtmenge εR zurückgehalten, und aus dieser Schicht tritt mithin die Lichtmenge $R - \varepsilon R = R(1 - \varepsilon)$. Denkt man sich die Platte als aus mehreren Schichten, jede von der Dicke 1, bestehend, so wird also in die zweite Schicht die Lichtmenge $R\,(1 - \varepsilon)$ eintreten, von welcher wieder der Bruchteil ε absorbiert wird. Folglich wird aus der zweiten Schicht die Lichtmenge:

$$R(1 - \varepsilon) - \varepsilon R(1 - \varepsilon) = R(1 - \varepsilon)^2$$

austreten. Hat die Platte die Dicke D, so wird aus der letzten Schicht also die Lichtmenge:

$$R_D = R(1 - \varepsilon)^D \quad \ldots\ldots \text{(Gleich. 33)}$$

austreten. Was aus der im Stoffe zurückgehaltenen Lichtmenge wird, beruht wesentlich auf der chemischen Beschaffenheit des Stoffes. Kann die Platte sich nicht unter dem Einflusse des Lichtes verändern, so wird die gesamte absorbierte Lichtmenge wahrscheinlich in Wärme umgesetzt. Enthält die Platte dagegen, wie es mit der lichtempfindlichen Schicht einer photographischen Platte der Fall ist, Stoffe, die sich unter der Einwirkung des Lichtes chemisch verändern, so wird wenigstens ein Teil der Lichtenergie dazu verbraucht werden, Umlagerungen der Atome zu erzeugen. Ob nun aber die

sämtliche einfallende Lichtmenge oder nur ein Teil derselben zu irgend einer Art Veränderungen verbraucht wird, so wird, wie Bunsen und Roscoe nachgewiesen haben[1], das Licht stets in dem durch das Absorptionsgesetz (Gleich. 33) ausgedrückten Verhältnisse geschwächt werden.

Wir untersuchen nun näher die Absorptionsverhältnisse einer lichtempfindlichen Platte, die wir uns in Analogie mit einer gewöhnlichen photographischen negativen Platte denken. Die Erfahrung lehrt, daſs für eine derartige lichtempfindliche Schicht ein gewisser Schwellenwert existiert, den die Lichtstärke übersteigen muſs, wenn während gegebener Zeit in der Schicht eine chemische Veränderung hervorgerufen werden soll. Eine photographische Platte kann kurze Zeit hindurch einem schwachen Lichte ausgesetzt werden, ohne daſs dies auf den lichtempfindlichen Stoff irgend einen nachweisbaren Einfluſs erhielte. Die Dauer der Zeit und die Gröſse des Schwellenwertes sind natürlich von der Empfindlichkeit des Stoffes abhängig; für einen gegebenen lichtempfindlichen Stoff wird es also einen Wert, R_0, geben, den die Lichtstärke übersteigen muſs, damit während einer Zeiteinheit, z. B. einer Sekunde, eine nachweisbare chemische Veränderung hervorgerufen werden kann. Sinkt die Lichtstärke unter R_0, so wird man eine chemische Wirkung nur dadurch erzielen können, daſs man die Einwirkungsdauer des Lichtes (die Expositionszeit) angemessen verlängert. Zahlreiche Erfahrungen haben gezeigt, wie zur Erzielung einer chemischen Wirkung von bestimmter Gröſse erforderlich ist, daſs das Produkt der Lichtstärke und der Expositionszeit konstant ist[2]. Wenn also die Lichtstärke R_0 während der Zeit 1 eben keine Wirkung hervorzurufen vermag — oder, was ganz dasselbe ist, nur ein Differential von Wirkung hervorruft —, so wird dasselbe von der Lichtintensität R_D während der Expositionszeit T gelten[3], sofern nur:

$$R_D \cdot T = R_0 \cdot 1 \quad \ldots \text{(Gleich. 34)}.$$

[1] Poggend. Annal. Bd. CI.

[2] Nernst, Theoretische Chemie. 2. Aufl. Stuttgart 1898. S. 686

[3] T und t haben hier und im Folgenden nicht die früheren speziellen Bedeutungen.

Digitized by Google

In der Gleich. 33 haben wir einen Ausdruck für die Stärke desjenigen Lichtes, das aus der D—sten Schicht der lichtempfindlichen Platte austritt, wenn das eindringende Licht die Intensität R hat. Nehmen wir nun an, dafs diese austretende Lichtmenge R_D gerade so klein ist, dafs sie während der Zeit T keine Wirkung hervorzubringen vermag, so erhält man also, indem man aus Gleich. 34 den Ausdruck für R_D in Gleich. 33 einsetzt:

$$\frac{R_0}{T} = R\,(1-\varepsilon)^D.$$

Die Lösung dieser Gleichung mit Bezug auf D ergibt:

$$D = \frac{1}{-\log.(1-\varepsilon)} \cdot \log.\frac{R \cdot T}{R_0}; \text{ setzt man } \frac{1}{-\log.(1-\varepsilon)} = c,$$

$$\text{wird: } D = c \cdot \log.\frac{RT}{R_0} \quad \ldots\ldots \text{ (Gleich. 35).}$$

In Gleich. 35 haben wir also einen Ausdruck für die Tiefe D, bis zu welcher die photochemische Wirkung während der Zeit T in eine photographische Platte eindringen wird, wenn das einfallende Licht die Intensität R hat. Hierbei wird vorausgesetzt, dafs die Dicke der empfindlichen Schicht gröfser als D oder wenigstens gleich D ist; findet dies nicht statt, so kann die Wirkung natürlich auch nicht regelmäfsig fortschreiten, und die Platte wird dann, wie die Photographen sagen, »durchgebrannt«. Dafs die Gleichung übrigens, wenn die genannte Bedingung erfüllt wird, einen richtigen Ausdruck für die Gröfse der Wirkung gibt, geht daraus hervor, dafs man aus Gleich. 35 Formeln ableiten kann, die mit den bekannten Mafsregeln praktischer Photographen unter verschiedenen Umständen völlig übereinstimmen.

Die Frage ist nun die: gilt Gleich. 35 auch für die Netzhaut? Ist dies der Fall, so braucht man offenbar nur anzunehmen, dafs die Empfindung E der Gröfse D proportional ist[1], wodurch die annähernde Gültigkeit des Weberschen Gesetzes erklärt wird. Man kann dann setzen:

$$E = c_1\ D = c_2 \log.\frac{RT}{R_0} \quad \ldots\ldots \text{ (Gleich. 36),}$$

---

[1] Über die Berechtigung dieser Annahme Näheres unten im Abschnitte: Die physiologische Bedeutung der Mafsformel.

Digitized by Google

welche Formel sich nur durch den Faktor T von Fechners Maſsformel unterscheidet. Der Umstand, daſs die Zeit in die Formel aufgenommen wird, gibt jedoch durchaus keinen gewichtigen Einwurf gegen die Gültigkeit der Gleich. 36 ab, sondern scheint im Gegenteil dieselbe zu bestätigen, denn es ist eine bekannte Sache, daſs Gesichtsempfindungen bis zu einem gewissen Grade wirklich mit der Zeit anwachsen. Namentlich aus Exners Untersuchungen[1] weiſs man, daſs die Empfindung ihre volle Stärke nicht sogleich, sondern erst nach Verlauf einer kurzen Zeit erreicht; für kleine Werte des T ist es also unzweifelhaft, daſs die Empfindung von der Zeit abhängig ist. Ferner ist es eine Thatsache, daſs die Empfindung, unter Voraussetzung hinlänglich kurzer Reizungen, durch das Produkt $R \cdot T$ bestimmt ist; auf dieser Voraussetzung beruht alle Photometrie mittels rotierender Scheiben. Hat man zwei Sektoren, den einen von der Gröſse G^0 und der Helligkeit R, den anderen von der Gröſse g^0 und der Helligkeit r, so werden diese, wenn sie mit genügender Geschwindigkeit vor einem lichtlosen Raum rotieren, dieselbe Lichtempfindung hervorrufen, sofern:

$$R \cdot G = rg \text{ oder } \frac{R}{r} = \frac{g}{G} \quad \ldots \text{(Gleich. 37)}.$$

Von der Richtigkeit der Gleich. 37 kann man sich überzeugen, indem man das Verhältnis R/r mittels andrer photometrischen Methoden bestimmt, wodurch man der Erfahrung gemäſs denselben Zahlenwert erhält, der durch den Bruch g/G angegeben ist[2]. Nun läſst sich aber das Verhältnis g/G leicht durch die Zeiten ausdrücken, während deren R und r aufs Auge wirken. Rotieren die beiden Sektoren nämlich um dieselbe Achse, also mit derselben Winkelgeschwindigkeit — was bei dergleichen Messungen gewöhnlich der Fall sein wird —, so ist es unmittelbar zu ersehen, daſs die Zeiten, während welcher sie auf die Netzhaut wirken, sich wie die Gradmaſse der Sektoren verhalten. Man hat also:

---

[1] Exner: Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. Sitzungsberichte d. Wiener Akademie. Bd. 58. 1868.

[2] Lehmann, Über Photometrie mittels rotierender Scheiben. Phil. Stud. Bd. IV. 1888.

$$\frac{R}{r} = \frac{g}{G} = \frac{t}{T}, \text{ folglich } R \cdot T = r \cdot t.$$

Eben dieses Resultat geht aber aus Gleich. 36 hervor. Soll der Reiz R während der Zeit T dieselbe Empfindung hervorrufen, wie der Reiz r während der Zeit t, so mufs Gleich. 36 zufolge:

$$E = c_2 \log. \frac{R\,T}{R_0} = c_2 \log. \frac{r \cdot t}{R_0},$$

was nur möglich ist, wenn $R \cdot T = r \cdot t$.

Die photometrischen Bestimmungen mittels rotierender Scheiben legen also die relative Gültigkeit der Gleich. 36 dar. Wie oben gesagt, kann die Gleich. 36 aber nur als für sehr kleine Werte des T gültig betrachtet werden. Wüchse nämlich die Empfindung mit der Dauer des Reizes ohne Begrenzung an, so würde hieraus folgen, dafs jede, sogar die geringste Gröfse des R eine Empfindung von jeder beliebigen Intensität hervorrufen könnte, wenn nur die Betrachtung des leuchtenden Objektes lange genug fortgesetzt würde. Es ist leicht zu sehen, dafs ein derartiges Verhältnis, wenn es stattfände, für unsere Auffassung der Aufsenwelt äufserst ungünstig sein würde. Ein Vergleich und eine Schätzung leuchtender Objekte von verschiedener Lichtstärke würde fast unmöglich sein, wenn unsere Empfindungen immer mehr an Intensität zunähmen, je länger wir die Objekte betrachteten. Diese Konsequenz wäre aber unvermeidlich, wenn Gleich. 36 unbedingte Gültigkeit besäfse, so dafs die photochemische Wirkung auf die Netzhaut ununterbrochen mit der Dauer anwüchse. Für die gewöhnliche photographische Platte gilt dies, indem man thatsächlich durch passende Vergröfserung des T jeden beliebigen gewünschten Wert des D, selbst bei sehr kleinen Gröfsen des R erzielen kann. Es ist z. B. bekannt, dafs man bei der photographischen Aufnahme des Sternenhimmels eine um so gröfsere Anzahl leuchtender Punkte auf der Platte erhält, je länger man die Expositionszeit macht. Dies gilt aber ja gerade nicht von der Netzhaut. Selbst wenn man irgend einen Punkt am Himmel stundenlang anstarrt, sieht man keinen einzigen Stern mehr, als gleich anfangs. Sogar diejenigen Sterne, welche eben an der Grenze der Sichtbarkeit liegen, sind

nicht im stande, bei längerer »Expositionszeit« gröfsere Wirkung auf die Netzhaut zu üben, so dafs sie sichtbar würden. Die Wirkung dieser gerade unsichtbaren Sterne auf die Netzhaut mufs im ersten Momente offenbar eine äufserst geringe sein, und sie wird auch, wenn die Expositionszeit unbegrenzt zunimmt, nicht merklich gröfser. Es geht also hieraus hervor, dafs die photochemische Wirkung auf die Netzhaut nach Verlauf einer gewissen, sehr kurzen Zeit T_m ihr Maximum D_m erreicht hat, und eine fernere Verlängerung der »Expositionszeit« wird daher keine Zunahme der Intensität der Empfindung zur Folge haben. Setzen wir diese Gröfsen in Gleich. 36 ein, so erhalten wir also folgenden Ausdruck für die maximale Empfindung, die von einem gegebenen Reize R hervorgebracht werden kann:

$$E = c_1 D_m = c_2 \log. \frac{R \cdot T_m}{R_0} \quad \ldots \text{(Gleich. 38).}$$

Streng genommen wäre es wohl am richtigsten, dem dem D_m entsprechenden Maximalwerte der Empfindung eine besondere Bezeichnung E_m zu geben. Dafs ich dies nicht that, liegt einfach darin, dafs wir eigentlich stets, sowohl in der Wissenschaft als im täglichen Leben, mit diesem Maximalwerte der Empfindung operieren. T_m ist nämlich so klein, nur wenige Zehntel einer Sekunde, dafs ganz spezielle Mafsregeln zu treffen sind, wenn man die Empfindung, bevor sie ihre volle Stärke erreicht hat, zu untersuchen wünscht. Die Rede ist denn auch immer von der maximalen Empfindung, wenn man sagt, dem Reize R entspreche eine bestimmte Empfindung E. Und da wir uns im Folgenden auf die Abhängigkeit der Empfindung von der Zeit nicht näher einlassen werden, können wir unbedenklich durch E die dem D_m entsprechende Empfindung bezeichnen.

Bei Gleich. 38 können wir nun nicht stehen bleiben, da T_m keine konstante Gröfse ist. Exner wies nach, dafs T_m selbst eine Funktion des R ist, und ferner wies er folgendes Abhängigkeitsverhältnis zwischen T_m und R nach: »Wenn die Reizungs-Intensitäten in geometrischer Progression wachsen, so nehmen die Zeiten, die zwischen Beginn der Reizung und ihrer höchsten Intensität verlaufen, in arithmetischer Progression

ab[1].« Den mathematischen Ausdruck für ein solches Abhängigkeitsverhältnis fanden wir bereits oben (S. 37): in Analogie mit Gleich. 12 können wir setzen:

$$T_m = a - a_1 \log. R \; . \; . \; . \; . \quad \text{(Gleich. 39)},$$

wo a und a_1 zwei Konstanten sind, bei deren Bedeutung wir hier nicht zu verweilen brauchen, da sie dem über die Konstanten k und k_1 in Gleich. 12 Entwickelten analog ist. Wird nun der Ausdruck für T_m in Gleich. 38 eingesetzt, so erhält man:

$$E = c_1 D_m = c_2 \log. \left[\frac{R}{R_0} (a - a_1 \log. R)\right] \; . \; . \; . \; . \quad \text{(Gleich. 40)}.$$

In Gleich. 40 haben wir also einen Ausdruck für die maximale Empfindungsstärke, die der Reiz R zu erzeugen vermag, allein als Funktion von R und gewissen Konstanten gegeben. Bevor wir aus dieser Formel weitere Schlüsse ziehen, wird es seine Bedeutung haben, eine Kontrolle für die Richtigkeit des Ausdrucks zu suchen. Eine solche Prüfung läſst sich mittels einer anderen Reihe von Messungen anstellen, die Exner in der oben citierten Abhandlung mitgeteilt hat. Um zu bestimmen, wie eine Lichtempfindung mit der Zeit wächst, verfuhr Exner nämlich so, daſs er einen Reiz R kurze Zeit hindurch aufs Auge einwirken lieſs und maſs, wie lange derselbe wirken muſste, damit die ausgelöste Empfindung gleich derjenigen würde, welche durch einen schwächeren Reiz hervorgebracht wurde, der konstant wirkte und folglich das Maximum[2] der Empfindung auslöste. Die Intensität des schwächeren Reizes war bei den verschiedenen Bestimmungen ein gewisser Bruchteil, $^1/_{10}$, $^2/_{10}$, $^3/_{10}$ u. s. w. des stärkeren, und für jede dieser Intensitäten fand er die Zeit, während welcher der stärkere Reiz wirken muſste, um dieselbe Empfindung wie der schwächere, konstant wirkende,

---

[1] An cit. Orte S. 601.

[2] Dies ist, streng genommen, nicht richtig, denn wir wissen, daſs ein fortdauernd wirkender Lichtreiz nur kurze Zeit hindurch das Maximum der Empfindung hervorruft; darauf nimmt die Empfindung wieder langsam ab. Die Verminderung ist jedoch so gering, daſs wir, um die Sache nicht gar zu kompliziert zu machen, hiervon absehen können, die abgeleitete Formel wird deswegen aber auch nicht völlig genau.

Digitized by Google

zu geben. Aus den obenstehenden Formeln können wir leicht die Bedingung für die Identität zweier solchergestalt hervorgerufener Empfindungen ableiten. Der stärkere Reiz mag R sein und während der Zeit T gewirkt haben. Zufolge Gleich. 36 hat er dann die Empfindung:

$$E = c_2 \log. \frac{R \cdot T}{R_0}$$

hervorgerufen. Ist nun der schwächere Reiz $^1 n$ von R, und hat er so lange gewirkt, dafs er das Maximum der Empfindung hervorgerufen hat, so ist nach Gleich. 40:

$$E = c_2 \log. \left[\frac{R}{n R_0}\left(a - a_1 \log. \frac{R}{n}\right)\right]$$

Nun sollen diese beiden Empfindungen sich gleich sein, also:

$$E = c_2 \log. \frac{RT}{R_0} = c_2 \log. \left[\frac{R}{n R_0}\left(a - a_1 \log. \frac{R}{n}\right)\right], \text{ woraus}$$

$$T = \frac{a - a_1 \log. R + a_1 \log. n}{n}$$

Da R während der Messungen konstant bleibt, wird folglich auch $a - a_1 \log. R$ konstant; wir können daher $a - a_1 \log. R = A_1$ setzen und erhalten dann als gesuchten Ausdruck der Zeit:

$$T = \frac{A_1 + a_1 \log. n}{n}$$

In der Tab. 16 sind die Resultate von Exners Messungen gegeben. Unter $^1 n$ ist angeführt, welchen Bruchteil des stärkeren Reizes der schwächere betrug; n ist der aus dem Dezimalbruche berechnete Nenner, und unter T sind die gemessenen Zeitdauern in Tausendsteln Sekunden angeführt. Aus den zusammengehörenden Werten n und T lassen sich mittels der Methode der kleinsten Quadrate die Konstanten A_1 und a_1 im Ausdrucke für T bestimmen, wodurch man $A_1 = 138$ und $a_1 = -61$ findet. Man hat also:

$$T = \frac{138 - 61 \log. n}{n}$$

Werden hierin nach und nach die verschiedenen Werte des n eingesetzt, so läfst sich das entsprechende T berechnen; die auf diese Weise gefundenen Gröfsen sind

in Tab. 16 unter »*T* ber.« gegeben, und unter *f* hat man die Abweichung der gemessenen Gröfsen hiervon. Die Übereinstimmung der Messung mit der Berechnung ist

Tab. 16.

$\frac{1}{n}$	n	T	T ber.	f
0,1	10,0	8	8	0
0,2	5,0	23	19	+ 4
0,3	3,33	37	32	+ 5
0,4	2,5	40	46	— 6
0,5	2,0	49	60	— 11
0,6	1,67	58	73	— 15
0,7	1,43	81	89	— 8
0,8	1,25	104	101	+ 3
0,9	1,11	127	121	+ 6
1,0	1,00	166	138	+ 28

so grofs, wie es sich bei Messungen so schwieriger Art erwarten läfst. Um die Übersicht zu erleichtern, habe ich die Resultate Pl. VIII, A, graphisch wiedergegeben, wo die Zeit als Abscisse, $1/n$ als Ordinate abgesetzt ist. Die gebrochene Linie verbindet die durch die Messung gefundenen Punkte, die Kurve gibt die berechneten Punkte an. Da den gemessenen Gröfsen, wie Fig. zeigt, ziemlich bedeutende Fehler anhaften, läfst sich keine gröfsere Übereinstimmung erwarten, besonders da unsere Formeln, wie oben berührt, nicht völlig genau sind. Die Gleichungen 36 und 40 dürfen also als richtig betrachtet werden, da die hieraus abgeleiteten Ausdrücke für Exners Messungen sich als mit diesen übereinstimmend erweisen[1].

[1] Eine höchst interessante Konsequenz, auf die wir uns hier jedoch nicht näher einlassen können, läfst sich aus Gleich. 40 ableiten. Hat man zwei Farben, z. B. Rot und Violett, deren objektiven Intensitäten R_r und R_v so gewählt sind, dafs die beiden Farben gleich hell erscheinen, so ist also $E_r = E_v$, indem E nur die Stärke der Empfindung bezeichnet. Die Bedingung hierfür ist aber die, dafs:

$$c_2 \log. \left[\frac{R_r}{R_0}(a - a_1 \log. R_r)\right] = c_2 \log. \left[\frac{R_v}{R_0}(a - a_1 \log. R_v)\right]$$

Nun ist es höchst unwahrscheinlich, dafs die Konstanten a und a_1 für die verschiedenen Farbenstrahlen dieselben sein sollten. Werden daher R_r und R_v mit derselben Zahl multipliziert, so wird man nicht mehr $E_r = E_v$ haben, da jede dieser Gröfsen auf ihre Weise mit dem

Der in Gleich. 40 gegebene Ausdruck für die Abhängigkeit der Empfindung von der Intensität der Reizung wird also, was G. E. Müller »die korrigierte Mafsformel« nennt, und da wir nun eine gewisse Garantie für seine Richtigkeit erhalten, läfst sich aller Wahrscheinlichkeit nach das »Unterscheidungsgesetz« auf ähnliche Weise daraus ableiten, wie Fechner seine »Fundamentalformel« aus der »Mafsformel« ableitet. Es ist hierbei allerdings verschiedenes zu berücksichtigen, wenn wir nicht nur eine mathematische Deduktion verlangen, sondern auch eine Formel wünschen, die alle zusammenwirkenden, auf das schliefsliche Resultat des Reizes, d. h. auf die Empfindung, influierenden Prozesse in Betracht zieht. Um aber diese Prozesse berücksichtigen zu können, müssen wir vor allen Dingen ihre Natur kennen, müssen wir wissen, welcher Art sie sind, und es ist dann ganz natürlich, vorerst die Ursache des bereits nachgewiesenen Unterschieds zwischen der Netzhaut und einer gewöhnlichen photographischen Platte aufzusuchen.

Die Frage ist also die: was ist die Ursache, weshalb die Empfindung nicht andauernd, sondern nur innerhalb eines kürzeren Zeitraums, T_m, mit der Zeit zugleich wächst? Soll sich eine rein physische Erklärung dieses Umstands geben lassen, so kann sie nur darin gesucht werden, dafs die photochemische Wirkung auf die Netzhaut schon nach Verlauf der Zeit T_m so grofs geworden ist, dafs sie überhaupt nicht mehr anwachsen kann. Da Gleich. 35, wie oben erwähnt, nur unter der Voraussetzung gültig ist, dafs D die Dicke der lichtempfindenden Schicht nicht übersteigt, so liegt die Annahme nahe, dafs diese Bedingung nach Verlauf der Zeit T_m nicht

---

entsprechenden R wächst. Die Folge wird also, dafs die beiden Farben, die bei einer gegebenen Intensität gleich hell erschienen, dies nicht mehr thun werden, wenn die Intensität für jede derselben in gleichem Verhältnisse zunimmt oder abnimmt. Wir haben hier mit anderen Worten Formeln für das Purkinjesche Phänomen erhalten. Quantitative Bestimmungen, die gegenwärtig unternommen werden, scheinen die Richtigkeit dieser Formeln völlig zu bestätigen; da es uns hier aber zu weit führen würde, wenn wir uns auf diesen speziellen Punkt näher einliefsen, ziehe ich es vor, diese Untersuchungen anderswo zu erörtern.

mehr erfüllt wird. Wegen der äufserst geringen Dicke der Netzhaut würde die Ansicht nicht so ganz unwahrscheinlich sein, dafs dieselbe in einem Bruchteil einer Sekunde »durchgebrannt« würde, und da D folglich nicht ferner wachsen könne, auch das dem D proportionale E nicht zu wachsen im stande sei. Näher betrachtet ist diese Erklärung jedoch durchaus unhaltbar. Die Betrachtung der Gleich. 38 genügt, um dies zu zeigen. Dieselbe gibt einen Ausdruck für die maximale Wirkung D_m, die ein gegebener Reiz R überhaupt auf die Netzhaut zu üben vermag. Nehmen wir nun an, dafs R anfänglich sehr klein ist. Nach Verlauf der Zeit T_m hat D_m dann eine gewisse Gröfse erhalten, die nun nicht mehr anwächst. Dies kann aber unmöglich davon herrühren, dafs D_m eine Gröfse gleich der Dicke der lichtempfindlichen Schichten der Netzhaut erreicht hat. Denn wenn R nun zu wachsen anfängt, so wächst faktisch E, folglich mufs auch D_m zugenommen haben, was unmöglich sein würde, wenn D_m schon vorher so grofs wäre, dafs es nicht mehr zunehmen könnte. Auf rein physischem Wege scheint die Thatsache, dafs für den Einflufs der Zeit auf das Wachstum der Empfindung schnell eine Grenze eintritt, sich also nicht erklären zu lassen.

Dieses eigentümliche Verhalten mufs daher zweifelsohne eine physiologische Ursache haben; es mufs ein vitaler Prozefs stattfinden, der schon nach Verlauf kurzer Zeit die Einwirkung des Lichtes auf die Netzhaut am ferneren Wachsen verhindert. Was dies für eine physiologische Thätigkeit ist, läfst sich natürlich nicht apriorisch entscheiden. Wir werden aber später erfahren, dafs dieselbe, den nämlichen Gesetzen unterworfene Thätigkeit sich auch bei der Muskelarbeit geltend macht. Und im letzteren Falle läfst es sich mit gröfster Wahrscheinlichkeit nachweisen, dafs es der Stoffwechsel im arbeitenden Organe ist, der diese eigentümliche Wirkung herbeiführt. Es ist deshalb höchst wahrscheinlich, dafs es auch der Stoffwechsel in der Netzhaut ist, der der Tiefe, bis zu welcher die photochemische Wirkung einzudringen vermag, so schnell die Grenze setzt. Diese Ansicht ist an und für sich auch ganz natürlich. Da das Licht nämlich geschwächt wird,

indem es in die lichtempfindliche Schicht eindringt, wird die photochemische Wirkung um so schwächer, je tiefer das Licht eindringt, und sie mufs also in irgend einer Tiefe so gering werden, dafs der Stoffwechsel im stande ist, ihr das Gleichgewicht zu halten, da statt des verbrauchten Stoffes stets neuer zugeführt wird. Ist dieser Zustand des Gleichgewichts eingetreten, so kann die Wirkung nicht tiefer dringen, und mithin wird auch die Empfindung ihr Maximum erreicht haben, indem wir voraussetzen, dafs die Empfindung der Tiefe der photochemischen Wirkung proportional ist. — Hierzu kommt noch ein anderer Umstand. Wenn ein Organ arbeitet, mufs der Stoffwechsel an dieser Stelle notwendigerweise lebhafter werden, als wenn das Organ sich in Ruhe befindet. Deshalb gewahrt man auch überall, wo eine Kontrolle überhaupt möglich ist, dafs der Blutzuflufs stärker wird, sobald das Organ in Thätigkeit kommt. Und je lebhafter diese Thätigkeit ist, um so stärker wird auch innerhalb gewisser Grenzen der Blutzuflufs und somit der Stoffwechsel. Es erweist sich aber gerade, dafs dies bei dem vitalen Prozesse der Fall ist, der dem Eindringen der photochemischen Wirkung in die Netzhaut eine Schranke aufstellt. Aus dem oben angeführten Exnerschen Gesetze (vgl. Gleich. 39) geht hervor, dafs die maximale Wirkung um so schneller erreicht wird, je gröfser die Stärke des Reizes ist. Da nun die Menge des in der Netzhaut dekomponierten Stoffes notwendigerweise mit der Reizung anwachsen mufs, so läfst sich vermuten, dafs auch der Blutzuflufs um so stärker und der Stoffwechsel um so lebhafter sein werden, je gröfser die Reizung ist, und die Folge hiervon mufs dann die werden, die eben durch das Exnersche Gesetz ausgedrückt ist, nämlich dafs das Eindringen der Wirkung schneller seine Grenze erhält.

Alle hier angeführten Umstände: dafs der in der Netzhaut thätige vitale Prozefs sich auch auf ganz anderen Gebieten äufsert, dafs er überall dasselbe Gesetz befolgt, dafs dieses Gesetz uns eine mit der Arbeit des Organs anwachsende Thätigkeit zeigt, und endlich, dafs es sich auf einem bestimmten Gebiete darlegen läfst, wie dieser unbekannte vitale Prozefs der Stoffwechsel ist — dies alles scheint es unzweifelhaft

Digitized by Google

zu machen, dafs sich hier wirklich der Stoffwechsel des Organs geltend macht. Für mehrere der angeführten Behauptungen bin ich allerdings noch den Beweis schuldig, dieser wird aber nach und nach im Folgenden gegeben werden, und mir erscheint es deswegen als unbestreitbar, dafs es der Einflufs des Stoffwechsels auf die photochemische Wirkung in der Netzhaut ist, welcher durch den in Gleich. 40 aufgenommenen Faktor $(a - a_1 \log. R)$ mit in Anschlag gebracht ist. Es könnte möglicherweise als ziemlich unwesentlich aussehen, ob wir zu entscheiden vermögen, was das für eine Thätigkeit ist, die sich hier geltend macht, wenn das Gesetz dieser Thätigkeit nur bekannt ist. Es wird sich aber sogleich im Folgenden erweisen, dafs die weitere Entwickelung der Sache in hohem Grade erleichtert wird, wenn wir eine gewisse Sicherheit besitzen, dafs wir mit dem Stoffwechsel in der Netzhaut zu schaffen haben.

An der »korrigierten Mafsformel«, Gleich. 40, haben wir einen Ausdruck für E durch R. Wir suchen nun einen Ausdruck für den Zuwachs, den der Reiz erhalten mufs, um die Empfindung ebenmerklich gröfser zu machen. Man pflegt diesen Ausdruck durch Differentialrechnung aus der Mafsformel abzuleiten; obschon aber Fechner und nach ihm fast alle hervorragenden Psychophysiker diese Methode anwandten, halte ich sie dennoch für prinzipiell unrichtig. Ein ebenmerklicher Empfindungsunterschied ist kein Differential und noch weniger ist dies mit der Gröfse dR der Fall, die in die andere Seite der Gleichung aufgenommen wird. Dieser Zuwachs des Reizes, der mathematisch als ein Differential behandelt wird, ist in der Realität eine endliche Gröfse, die überdies oft einen beträchtlichen Wert hat. Man wird deshalb einen nicht unwesentlichen Fehler begehen, wenn man ihn als eine unendlich kleine Gröfse behandelt. Der Umstand, dafs man dies bisher gethan hat, ohne gröfsere Übelstände zu merken, beweist nichts. Denn das Webersche Gesetz ist, wie wir jetzt wissen, nur ein unvollständiger und durchaus ungenügender Ausdruck der thatsächlichen Verhältnisse; ein kleiner Fehler mehr oder weniger in diesem Ausdruck hat daher nicht viel zu sagen. Bei der genauen Behandlung der Erscheinungen, die wir hier bezwecken, würde eine

unzulässige mathematische Operation sich dagegen sofort rächen. Und da zudem die mathematischen Operationen nicht schwieriger werden, weil wir die Zuwächse der Empfindungen und der Reize als endliche Differenzen behandeln, so ist letzteres unbedingt vorzuziehen.

Dem Reize R entspricht die Empfindung E, gegeben durch die Formel:

$$E = c_2 \log. \left[\frac{R}{R_0}(a - a_1 \log. R)\right] \quad .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 40).}$$

Dem Reize r entspricht die Empfindung e, gegeben durch den analogen Ausdruck:

$$e = c_2 \log. \left[\frac{r}{R_0}(a - a_1 \log. r)\right]$$

Subtrahieren wir letztere Gleichung von ersterer, indem wir $E > e$ voraussetzen, so erhalten wir:

$$E - e = c_2 \log. \left[\frac{R}{R_0}(a - a_1 \log. R)\right] - c_2 \log. \left[\frac{r}{R_0}(a - a_1 \log. r)\right]$$
$$= c_2 \log. \frac{R\,(a - a_1 \log. R)}{r\,(a - a_1 \log. r)}$$

Nehmen wir nun an, dafs die Differenz $E - e$ ebenmerklich ist, und bezeichnen wir diesen ebenmerklichen Unterschied durch μ, so haben wir:

$$E - e = \mu = c_2 \log. \frac{R\,(a - a_1 \log. R)}{r\,(a - a_1 \log. r)}, \text{ woraus folgt:}$$

$$\frac{R}{r} \cdot \frac{a - a_1 \log. R}{a - a_1 \log. r} = 10^{\mu : c} = K_3 \quad .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 41).}$$

In der Gleich. 41 haben wir also die Bedingung, die von den Reizen R und r erfüllt werden mufs, sofern diese eine ebenmerkliche Empfindungsdifferenz hervorrufen sollen. Selbst wenn wir nun aber auch annehmen, dafs unser Ausgangspunkt, Gleich. 40, richtig ist, und selbst wenn die mathematische Deduktion sich unangreifbar erweist, ist es doch mehr als zweifelhaft, ob Gleich. 41 den thatsächlichen Verhältnissen entspricht. Oder besser: wir wissen, dafs dies nicht der Fall sein wird. Denn wenn die Netzhaut das Objekt zweier verschiedener gleichzeitiger Reizungen ist, so findet eine Kontrastwirkung zwischen diesen statt, und diese Kontrastwirkung, für die wir in Gleich. 21 einen Ausdruck

Digitized by Google

haben, mufs bei der Berechnung notwendigerweise berücksichtigt werden, wenn unsere Formel den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen soll. Um dies zu erzielen, bringen wir erst Gleich. 41 in die Form:

$$\frac{R}{r} = K_3 \frac{a - a_1 \log. r}{a - a_1 \log. R}$$

Hieraus folgt ganz einfach:

$$\frac{R - r}{r} = K_3 \frac{a - a_1 \log. r}{a - a_1 \log. R} - 1$$

Dem oben (S. 52) Entwickelten zufolge wissen wir, dafs für $R - r$ zu setzen ist $J - i$, wenn der gegenseitige Kontrast in Anschlag gebracht werden soll. Wird nun zugleich der Ausdruck für $J - i$ aus Gleich. 21 eingesetzt, so hat man:

$$\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right] = K_3 \frac{a - a_1 \log. r}{a - a_1 \log. R} - 1 \;\ldots \text{(Gleich. 42).}$$

Hiermit sind wir doch noch nicht fertig. Wir sahen oben, wie es gewisse Wahrscheinlichkeit hat, dafs der in Gleich. 40 und 41 aufgenommene Faktor $(a - a_1 \log. R)$ den Einflufs des Stoffwechsels auf die photochemische Wirkung in der Netzhaut ausdrückt, und dieser Einflufs ist, wie der Ausdruck selbst zeigt, eine Funktion des R. Verhält dies sich aber richtig, so ist es höchst unwahrscheinlich, dafs zwei gleichzeitige Reize, R und r, ganz voneinander unabhängig, auf den Stoffwechsel sollten influieren können. Jeder der Reize greift unleugbar seine Stelle der Netzhaut an, und der Stoffverbrauch an diesen Stellen ist wesentlich durch die Stärke der Reize bedingt, daraus folgt aber keineswegs, dafs dies auch von der Lebhaftigkeit des Stoffwechsels gilt. Wird der Blutzuflufs nach einem Organ wegen der Arbeit des Organs vermehrt, so wird der Stoffwechsel wahrscheinlich an allen Stellen lebhafter vorgehen, so dafs der am kräftigsten arbeitende Teil des Organs die gesamte Thätigkeit bestimmt. Ob im Gehirn eine stark vermehrte Blutzufuhr nach einem einzelnen Zentrum vorkommen kann, ohne dafs andere Stellen derselben teilhaft würden, mufs dahingestellt bleiben, in den peripheren Organen ist eine solche lokale Begrenzung aber sehr wenig wahrscheinlich. Wir wissen z. B., dafs

Digitized by Google

Muskelarbeit eines Armes vermehrte Blutzufuhr nicht nur nach dem arbeitenden Arme, sondern auch, wenngleich nicht in völlig so grofsem Umfange, nach dem anderen Arme bewirkt. Eine derartige Erscheinung deutet jedenfalls auf keine stark lokalisierte Vermehrung der Blutzufuhr hin, und es hat deshalb auch nur geringe Wahrscheinlichkeit für sich, dafs die Lebhaftigkeit, mit welcher der Stoffwechsel auf einem kleinen Areal der Netzhaut vorgeht, von den Vorgängen in den angrenzenden Arealen durchaus unabhängig sein sollte. Die natürlichste Annahme wird hier die, dafs der stärkere der beiden gleichzeitigen Reize die Blutzufuhr und die Lebhaftigkeit des Stoffwechsels bestimmt, dafs letzterer sonst aber an den verschiedenen Stellen je nach Bedarf verschieden wird.

Die Konsequenz dieser Betrachtungen, wenn sie auf unseren speziellen Fall angewandt werden, ist die, dafs Gleich. 42 eine Korrektion erleiden mufs. Der in der rechten Seite der Gleichung vorkommende Faktor:

$$\frac{a - a_1 \log. r}{a - a_1 \log. R}$$

gibt einen Ausdruck für den Einflufs des Stoffwechsels auf die photochemische Wirkung an den einzelnen Stellen der Netzhaut unter der Voraussetzung, dafs die einzelnen Stellen in dieser Beziehung ganz voneinander unabhängig sind. Dies darf man aber, den obigen Betrachtungen zufolge, kaum annehmen. Es mufs der stärkere Reiz, R, sein, der im ganzen den Einflufs des Stoffwechsels bestimmt, während letzterer nur an den durch r gereizten Stellen einen anderen Wert als an den durch R gereizten erhält. Wir kommen deshalb den thatsächlichen Verhältnissen gewifs am nächsten, wenn wir statt des Zählers:

$a - a_1 \log. r$ den Ausdruck: $a_2 - a_3 \log. R$

setzen, wo a_2 und a_3 zwei neue Konstanten sind. Setzt man diese Gröfse in Gleich. 42 ein, und führt man die Berechnungen aus, so erhält man:

$$\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right] = \frac{K_3 a_2 - a - (K_3 a_3 - a_1) \log. R}{a - a_1 \log. R}$$

Setzt man hier der Vereinfachung wegen:

$$K_3 a_2 - a = a_4 \text{ und } K_3 a_3 - a_1 = a_5,$$

so wird die Gleich. 42:

$$\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right] = \frac{a_4 - a_5 \log. R}{a - a_1 \log. R} \quad \ldots \quad \text{(Gleich. 43)},$$

was also die Bedingung sein wird, welche die beiden Reize R und r erfüllen müssen, wenn sie einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied hervorrufen sollen. Oder mit anderen Worten: es sollte sich erweisen, dafs Gleich. 43 nur eine andere Formulierung des in Gleich. 28 gegebenen »Unterscheidungsgesetzes« für Lichtempfindungen wäre. Dafs dies wirklich der Fall ist, läfst sich nun auch ohne Schwierigkeit nachweisen. Aus Gleich. 28 folgt nämlich erst:

$$\frac{1}{\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right]} = \frac{K_1}{k - k_1 \log. R} - 1 \qquad \text{also:}$$

$$\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right] = \frac{k - k_1 \log. R}{K_1 - k + k_1 \log. R}$$

Setzt man hier: $K_1 - k = k_2$, so erhält man:

$$\left(\frac{R}{r} - 1\right)\left[1 + \alpha + \frac{\beta}{\gamma + \log. \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R}\right] = \frac{k - k_1 \log. R}{k_2 + k_1 \log. R}$$

welche Gleichung sich von Gleich. 43 offenbar nur durch die in der rechten Seite der Gleichung vorkommenden Konstanten unterscheidet. Dafs diese in den beiden Gleichungen nicht dasselbe Vorzeichen haben, kann wohl kaum ins Gewicht fallen, da wir überhaupt nichts darüber wissen, ob die Konstanten positiv oder negativ sind; das Wesentlichste ist, dafs die beiden Brüche für bestimmte numerische Werte der Konstanten gleichgrofs sein können. — Wir sind nun im stande, die ganze vorhergehende Entwickelung in Kürze folgendermafsen zu resümieren:

Wir haben, in Übereinstimmung mit einem bekannten physischen Gesetze, diejenige Tiefe gefunden, bis zu welcher die photochemische Wirkung in die Netzhaut eindringen mufs, wenn letztere durch Licht von gegebener Intensität gereizt wird. Wir haben

Digitized by Google

ferner sowohl den Stoffwechsel als den Einflufs des gegenseitigen Kontrastes auf die photochemische Wirkung, wenn die Netzhaut an verschiedenen Stellen zugleich durch Licht von verschiedener Intensität gereizt wird, berücksichtigt[1]. Und indem wir voraussetzten, dafs die resultierenden Lichtempfindungen den photochemischen Wirkungen proportional sind, gelangten wir zu einem mit dem empirisch gefundenen Unterscheidungsgesetze identischen Ausdruck. Folglich scheint diese Voraussetzung richtig zu sein, und das »Unterscheidungsgesetz«, das korrigierte Webersche Gesetz, hat somit eine rein physisch-physiologische Erklärung erhalten.

Obschon diese ganze Entwickelung recht wahrscheinlich aussieht, mufs doch an einem einzelnen Punkte gewifs eine wesentliche Korrektion unternommen werden. Dies verrät sich sogleich, wenn wir nun zur Untersuchung schreiten, ob das Unterscheidungsgesetz sich nicht möglicherweise auch auf anderen Gebieten als dem des Gesichtssinnes gültig erweisen sollte.

DIE GEMEINGÜLTIGKEIT DES UNTERSCHEIDUNGSGESETZES.

Die Gültigkeit des Unterscheidungsgesetzes für Schallempfindungen. Die oben citierten Worte von Ebbinghaus: dafs die sogenannten Abweichungen von dem Weberschen Gesetze sich einer photochemischen Theorie als völlig verständlich und gesetzmäfsig erweisen würden, haben sich durch unsere vorhergehenden Betrachtungen wirklich bestätigt. Gegen diese — oder jede beliebige andere — photochemische Theorie scheint mir aber der Einwurf naheliegend zu sein, dafs die Theorie der Natur der Sache zufolge nur für den Lichtsinn gültig sein kann. Aber auch auf anderen Sinnesgebieten, wo genaue Messungen möglich sind, vor allen

[1] Über den Einflufs der Pupillenweite, siehe Anhang.

Digitized by Google

Dingen also rücksichtlich des Gehörs, hat es sich erwiesen, dafs die Unterschiedsempfindlichkeit keineswegs konstant ist, sondern auf ganz ähnliche Weise wie in betreff der Gesichtsempfindungen variiert. Es ist daher a priori auch ziemlich wahrscheinlich, dafs man für die Schallempfindungen ein Unterscheidungsgesetz nachweisen kann, analog demjenigen, das sich oben als für die Gesichtsempfindungen gültig erwies. Ganz genau dieselbe Form wird das Unterscheidungsgesetz wohl schwerlich auf den beiden Gebieten erhalten, da unsere Lichtempfindungen gleichzeitig eintreten und deshalb simultanem Kontrast und ähnlichen, bei Schallempfindungen unbekannten Erscheinungen unterworfen sind. Die gleichartigen Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit auf den beiden Gebieten bieten indes Grund zu der Annahme, dafs die Unterscheidungsgesetze dennoch bis zu einem gewissen Grade miteinander übereinstimmen werden. Wie dies sich theoretisch erklären läfst, ist schwer zu verstehen, denn wenn man auf zwei Sinnesgebieten wesentlich übereinstimmende Verhältnisse zwischen Empfindung und Reiz findet, so mufs man zu der Annahme berechtigt sein, dafs die gleichartigen Gesetze von gleichartigen Funktionen herrühren. Es kann von einer photochemischen Thätigkeit im Ohre aber doch wohl nicht recht die Rede sein. Es scheint also, dafs wir das Unterscheidungsgesetz von gar zu speziellen Ausgangspunkten aus entwickelt haben, und es handelt sich deshalb darum, seine Gültigkeit auf verschiedenen Gebieten zu prüfen, um das zu einer Korrektion erforderliche Material zu beschaffen. Zuerst untersuchen wir nun seine Gültigkeit für Schallempfindungen.

Von Merkels Hand liegen eine Reihe Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit für Schallempfindungen vor, nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede ausgeführt[1]. Zur Grundlage unserer Untersuchungen benutze ich die umfangreichste dieser Versuchsreihen[2], die in der Tab. 17 wiedergegeben ist. Unter den Überschriften R und r sind hier die zusammengehörenden

[1] Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung. III. Schallreize. Phil. Stud. Bd. V.
[2] Ibid. S. 514.

Digitized by Google

Werte der beiden Reize und darauf ihr Verhältnis R/r gegeben. Die ersten vier Werte des R/r zeigen allmähliche Abnahme, die zehn letzten dagegen unregelmäfsige Schwankungen, die jedoch nicht gröfser sind, als dafs sie von Unsicherheit der Beurteilung herrühren können. R/r scheint hier also konstant zu sein; das Mittel der letzten zehn Werte ist 1,300, und die Abweichung der einzelnen Werte von diesem Mittel ist in der folgenden Kolonne unter der Überschrift f gegeben. Man sieht hier, dafs die Fehler sich ganz unregelmäfsig in positiver und negativer Richtung verteilen; der mittlere Fehler beträgt 0,0063. Das Webersche Gesetz scheint hier also innerhalb eines gröfseren Reizumfanges zu gelten, zugleich findet sich aber deutlich eine »untere« Abweichung, indem R/r wächst, wenn r sehr klein wird. Dasselbe kommt übrigens auch in einer anderen der Merkelschen Versuchsreihen zum Vorschein. Über die Ursache dieser Abweichungen sagt Merkel: »Die Tabellen zeigen, dafs auch bei den Schallempfindungen eine untere Abweichung vom Weberschen Gesetze vorhanden ist. Dieselbe wird sich je nach der Stärke des Tagesgeräusches bis zu gröfseren beziehentlich kleineren Werten von r erstrecken. Da ich meine Versuche in einem nach dem Garten zu gelegenen, von dem Lärm des Tages nach Möglichkeit abgeschlossenen Raume ausführte, so macht sich die untere Abweichung erst bei einem verhältnismäfsig schwachen Reize geltend[1].«

Die Richtigkeit dieser Erklärung hat Merkel gar nicht darzuthun versucht; dieselbe ist weiter nichts als ein Postulat. Und ein Beweis scheint doch um so dringender notwendig zu sein, da es längst festgestellt ist, dafs die unteren Abweichungen vom Weberschen Gesetze, was die Lichtempfindungen betrifft, sich nicht durch eine konstante Gröfse (das Eigenlicht des Auges) erklären lassen, die sich zu den gemessenen Reizen hinzuaddierte[2]. Es hätte doch nahe gelegen und wäre wohl nicht mit unüberwindlichen Schwierigkeiten verbunden gewesen, eine wenn auch nur kürzere Reihe

---

[1] Ibid. S. 515.

[2] Müller, Zur Grundlegung der Psychophysik. Berlin 1879. S. 181.

von Versuchen in der Stille der Nacht anzustellen, da es sich dann ja erweisen müfste, ob die Abweichungen, wenn sie auch nicht ganz wegfielen, doch nicht allenfalls auf ein Minimum reduziert würden. Auch auf dem Wege der Berechnung hätte sich ein Beweis führen lassen. Wirkt nämlich das Tagesgeräusch als annähernd konstanter Schall, der sich den gemessenen Reizen hinzuaddiert, so mufs diese unbekannte Gröfse, x, aus den Versuchen zu finden sein, indem man setzt:

$$\frac{R+x}{r+x} = b \quad \ldots \quad \text{(Gleich. 44).}$$

Hieraus folgt: $$x = \frac{R - br}{b - 1}$$

Setzt man hier $b = 1{,}300$, dem gefundenen Werte der Unterschiedsempfindlichkeit, von dem anzunehmen ist, dafs er auch für die kleinen Werte von R und r gilt, wenn zu diesen die konstante störende Ursache x addiert wird, und setzt man darauf nach und nach die zusammengehörenden Gröfsen R und r in die Gleichung ein, so erhält man für x die in der Tab. 17 angeführten Werte. Diese weichen augenscheinlich so wenig voneinander ab, dafs x wirklich als eine konstante Gröfse zu be-

Tab. 17.

R	r	$\frac{R}{r}$	f	x	b	f_1
0,681	0,412	1,654		0,48	1,289	— 0,010
1,521	1,030	1,477		0,61	1,317	+ 0,018
2,784	2,025	1,375		0,50	1,298	— 0,001
5,415	4,050	1,337		0,51	1,299	0,000
13,18	10,12	1,302	+ 0,002		1,287	— 0,012
32,27	24,96	1,293	— 0,007		1,287	— 0,012
63,72	49,43	1,289	— 0,011		1,286	— 0,013
172,4	132,4	1,302	+ 0,002		1,301	+ 0,002
336,6	259,7	1,296	— 0,004		1,296	— 0,003
640,6	488,6	1,311	+ 0,011		1,311	+ 0,012
1128	869,4	1,297	— 0,003		1,297	— 0,002
2075	1590	1,305	+ 0,005		1,305	+ 0,006
3196	2468	1,294	— 0,006		1,294	— 0,005
6476	4936	1,312	+ 0,012		1,312	+ 0,013
	Mittel	1,300	± 0,0063	0,52	1,299	± 0,0078

trachten ist, deren mittlerer Wert 0,52 wird. Wir können nun in Gleich. 44 $x = 0{,}52$ setzen und darauf b durch successives Einsetzen der zusammengehörenden Werte

von R und r berechnen. Wir gelangen hierdurch zu den in der Tabelle unter der Überschrift b angegebenen Gröfsen. Vergleicht man diese Zahlen mit den in der Kolonne R/r befindlichen, so sieht man, dafs die beiden Reihen erst von $R = 336{,}6$ an völlig miteinander zusammenfallen, was also heifsen will, dafs der Einflufs des konstanten Geräusches sich bei allen schwächeren Reizen spüren läfst. Übrigens zeigt es sich, dafs die Gröfsen b annähernd konstant sind; das Mittel beträgt 1,299 und weicht also nur ganz unwesentlich von $R/r = 1{,}300$ ab. Unter der Überschrift f_1 ist angegeben $f_1 = b - 1{,}299$; man sieht, dafs diese Fehler durchweg klein sind und unregelmäfsig in positiver und negativer Richtung schwanken; ihr Mittel ist 0,0078. Das Resultat hiervon wird also, dafs Gleich. 44 wirklich für die Merkelschen Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit für Schallempfindungen gültig zu sein scheint, was mit anderen Worten heifst, dafs das Webersche Gesetz, hinsichtlich des konstanten Geräusches korrigiert, für diese Versuche gilt.

Bei näherer Erwägung wird man es auch ganz natürlich finden, dafs das Unterscheidungsgesetz für Schallempfindungen eine Form wie Gleich. 44 annimmt, die mit der entsprechenden für Lichtempfindungen (Gleich. 43 oder der damit identischen Gleich. 28) verglichen sich durch ihre Einfachheit auszeichnet. Denn dafs Gleich. 43 so kompliziert wird, kommt, wie wir sahen, daher, dafs beim Gesichtssinne sowohl der Einflufs des Stoffwechsels auf die peripheren Prozesse als der simultane Kontrast zu berücksichtigen ist. Beide diese Faktoren sind aber wahrscheinlich ohne alle Bedeutung für das Gehör. Von simultanem Kontraste kann der Natur der Sache zufolge bei Schallempfindungen, die notwendigerweise successiv entstehen müssen, um scharf auseinander gehalten werden zu können, gar nicht die Rede sein. Dagegen gibt es gewifs einen, wenngleich nur geringen successiven Kontrast, und der Einflufs desselben ist aus den die Unterschiedsempfindlichkeit angebenden Zahlen nicht eliminiert. Successiver Kontrast zwischen Schallempfindungen mufs sich nämlich auf die Weise äufsern, dafs ein stärkerer, auf einen schwächeren Schall folgender

Digitized by Google

Schall stärker scheint, als er eigentlich sein sollte, und umgekehrt. Läfst man daher bei der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit *r* den ersten Reiz sein, so mufs der folgende Reiz *R*, weil er nach dem schwächeren kommt, als zu stark erscheinen, weshalb *R* also einen Wert erhält, der ein wenig kleiner ist, als er sein würde, wenn kein Kontrast stattfände. Stellt man nun aber eine andere Reihe von Versuchen an, bei welchen *R* der erste, *r* der zweite Reiz ist, so wird *r* kleiner scheinen, als es thatsächlich ist, weil es auf den stärkeren Reiz *R* folgt, und hiervon mufs dann wieder die Folge werden, dafs *R* einen zu kleinen Wert erhält. Das Mittel der beiden Werte von *R* wird dann ein wenig kleiner, als der Fall sein würde, wenn kein Kontrast stattfände. Der successive Kontrast zwischen Schallempfindungen ist der Erfahrung gemäfs indes so gering, dafs seine Gröfse sogar unter günstigen Verhältnissen sich kaum messen läfst, und bei zwei einander so nahe liegenden Reizen wie *R* und *r* kann er ganz aufser acht gelassen werden. Deswegen wird im Unterscheidungsgesetze für Schallempfindungen keine Korrektion hinsichtlich des successiven Kontrastes unternommen. (Über den durch die Succession verursachten Zeitfehler, der mit dem Kontraste nichts zu thun hat, siehe S. 112.)

Was ferner den Stoffwechsel betrifft, so ist es leichtverständlich, dafs dieser für den Gesichtssinn eine sehr wesentliche Rolle spielen mufs, während er für das Gehör fast ohne Bedeutung ist. Ist eine Stelle der Netzhaut nur wenige Sekunden der Reizung durch ein einigermafsen starkes Licht ausgesetzt gewesen, so läfst sich erfahrungsgemäfs in der Empfänglichkeit der betreffenden Stelle für nachfolgende Reize eine Veränderung nachweisen. Eine solche Veränderung deutet aber auf einen Umsatz, einen Verbrauch von Stoff hin, und hiermit geht es nun wieder zusammen, dafs eine mehr oder weniger lebhafte Ernährung des arbeitenden Organs grofsen Einflufs auf die resultierenden Empfindungen erhält. Ganz anders mit dem Ohr. Selbst wenn man 15—20 Minuten hindurch fortwährend einen und denselben Ton anhört, wird es kaum möglich sein, eine Veränderung der Empfänglichkeit nachzuweisen. Der Stoffverbrauch des arbeitenden

Organs mufs hier also ein so geringer sein, dafs er immer durch den Stoffwechsel völlig ausgeglichen wird. Hieraus folgt nun wieder, dafs ein Einflufs des Stoffwechsels auf Schallempfindungen sich nicht nachweisen läfst, weshalb auch keine Korrektion des Unterscheidungsgesetzes in dieser Beziehung erforderlich ist. Von der ganzen, komplizierten Gleich. 43 bleibt daher weiter nichts übrig als $R/r =$ konst., wozu jedoch die in Gleich. 44 angegebene Korrektion hinsichtlich des unvermeidlichen äufseren Lärms hinzuzufügen ist. Eine ähnliche Korrektion ist in betreff der Lichtempfindungen dagegen nicht erforderlich, da man mittels hinlänglicher Adaptation das »Eigenlicht des Auges« bis auf ein unmerkliches Minimum herabsetzen kann.

Wir verstehen also vollkommen, weshalb das für Lichtempfindungen äufserst komplizierte Unterscheidungsgesetz sich für Schallempfindungen auf einen sehr einfachen Ausdruck reduzieren läfst. Dagegen ist es durchaus unverständlich, weshalb ein konstanter Unterschied zwischen Schallempfindungen $R/r =$ konst. verlangt. Was die Lichtempfindungen betrifft, war dieses Verhältnis die einfache Folge davon, dafs die photochemische Wirkung auf die Netzhaut von der Stärke des Reizes logarithmisch abhängig ist (Gleich. 38). Es scheint also zwischen den Reizungen und den Veränderungen im akustischen Apparate ein ähnliches Verhältnis zu bestehen, aber warum? Welcher Art sind diese Veränderungen? Zur Beantwortung dieser Frage gebricht es uns einstweilen offenbar an jeglichem Ausgangspunkte. Wir werden später aber dieselbe Gesetzmäfsigkeit auf einem dritten Gebiete wiederfinden, wo die speziellen Verhältnisse neues Licht auf das Problem werfen, und wo wir den Versuch anstellen werden, dasselbe zu lösen.

Die gleiche Gröfse ebenmerklicher Unterschiede. Bevor wir die Untersuchungen über Schallempfindungen abschliefsen, erübrigt es noch, den Beweis für die Richtigkeit der Voraussetzung zu führen, von welcher wir bei allen unseren vorhergehenden Untersuchungen ausgingen, dafs nämlich ebenmerkliche Unterschiede zwischen Empfindungen derselben Art gleichgrofse Empfindungsunterschiede sind. Diese Voraus-

Digitized by Google

setzung wurde in der Einleitung festgestellt als ein Postulat, auf dessen Beweis wir uns damals nicht einlassen konnten. Wir nehmen die Frage gerade hier zur endlichen Entscheidung vor, weil die zu einer Beantwortung erforderlichen Versuche bisher nur auf dem Gebiete des Gehörs vorliegen. Diese Versuche stellte Ament[1] in Würzburg unter Beistand der bekannten Psychologen Külpe und Marbe an, deren Namen verbürgen, dafs die Messungen mit all der Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit, welche die Wichtigkeit der Frage erheischt, durchgeführt wurden.

Ament geht von folgender Betrachtung aus. Ist das Webersche Gesetz auf irgend einem Sinnesgebiete innerhalb eines bestimmten Reizumfangs gültig, so hat man hier innerhalb dieser Grenzen $E = c \log. R$. Wählt man nun innerhalb des Gebietes, auf dem das Gesetz gültig ist, drei Reize, R, M und r, so, dafs sich mit Bezug auf die entsprechenden Empfindungen zwischen E_R und E_M derselbe Unterschied zeigt wie zwischen E_M und E_r, so mufs man haben:

$$E_R - E_M = c(\log. R - \log. M) = E_M - E_r = c(\log. M - \log. r)$$

und folglich: $\frac{R}{M} = \frac{M}{r}$, oder $M^2 = R \cdot r$ . . . . (Gleich. 45).

Lehrt die Erfahrung nun, dafs Gleich. 45 nicht gilt, obschon sie eine mathematisch notwendige Konsequenz des Weberschen Gesetzes ist, so läfst dies sich nur dadurch erklären, dafs die ebenmerklichen Unterschiede nicht gleichgrofs sind. Sind nämlich die ebenmerklichen Unterschiede gleichgrofs, so ist E als eine Gröfse zu betrachten, die sich in jedem einzelnen Falle als mit dem ebenmerklichen Unterschiede zur Mafseinheit gemessen denken läfst (vgl. S. 11), und dann mufs Gleich. 45 sich notwendigerweise auch als gültig erweisen. Zeigt es sich daher, dafs dies nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmt, so mufs die Voraussetzung: der ebenmerkliche Unterschied als gedachte Mafseinheit, falsch sein, oder mit anderen Worten: der ebenmerkliche Unterschied kann nicht überall dieselbe Gröfse haben.

Auf zwei verschiedenen Wegen, einem direkten und

[1] Über das Verhältnis der ebenmerklichen zu den übermerklichen Unterschieden bei Licht- und Schallintensitäten. Phil. Stud. Bd. XVI.

einem indirekten, untersucht Ament nun, ob Gleich. 45 wirklich gültig ist. Beide Wege führen zu demselben Ergebnisse, da aber nur der sogenannte indirekte Weg Zahlengröfsen gibt, die sich mathematisch behandeln lassen, müssen wir uns darauf beschränken, diese Messungen zu betrachten. Sie sind nur für Schallempfindungen durchgeführt, wir werden später aber nachweisen, dafs dieselben Konsequenzen, die sich auf natürliche Weise aus Aments Schallversuchen ableiten lassen, auch für die Lichtempfindungen gültig sind. Wir beginnen also mit Aments Messungen auf dem Gebiete des Gehörs. Hier wird vorerst die Unterschiedsempfindlichkeit zweier Beobachter, *K* und *A*, für eine Reihe von Reizen innerhalb der Grenzen 1 und 46,95 bestimmt. In den Tab. 18a und 18b sind unter der Überschrift *r* die benutzten Reize angegeben, unter $\triangle r$ die dem ebenmerklichen Unterschiede entsprechenden Zuwächse der Reize. Um nun die Berechnungen auf dieselbe Weise wie überall im Vorhergehenden durchführen zu können, habe ich in einer dritten Kolonne $R = r + \triangle r$ und darauf das Mafs für die Unterschiedsempfindlichkeit R/r angeführt. Man sieht, dafs letztere Werte für Reize zwischen 11,24 und 32,78 fast konstant sind; hier hat also das Webersche Gesetz Gültigkeit. Es gibt übrigens eine untere Abweichung, ganz in Übereinstimmung mit dem, was man bei anderen Messungen dieser Art gefunden hat, indem die Werte hier zu grofs sind. Aufserdem findet sich hier aber eine ganz sonderbare obere Abweichung, indem der dem gröfsten Wert des *r* entsprechende Wert von R/r bedeutend kleiner ist als die zunächst vorhergehenden. Ament macht selbst auf dieses Faktum aufmerksam, ohne irgend eine Erklärung zu versuchen, was doch wohl notwendig sein möchte, da eine solche plötzliche Verminderung des R/r sonst ganz unbekannt ist. Da sie in beiden Versuchsreihen vorkommt, mufs sie notwendigerweise von einem vom Beobachter unabhängigen, konstanten Fehler herrühren, wahrscheinlich von einem Fehler des »Schallpendels«, durch welches die Reize hervorgebracht wurden. Da hierüber aber keine Aufschlüsse vorliegen, müssen wir die Messungen nehmen, wie sie sind.

Tab. 18a.

Unterschiedsschwelle für *K*.

r	$\triangle r$	R	$\frac{R}{r}$	b	f
46,95	5,85	52,80	1,125	1,120	— 0,030
32,78	5,31	38,09	1,162	1,154	+ 0,004
20,76	3,41	24,17	1,164	1,152	+ 0,002
11,24	1,92	13,16	1,170	1,149	— 0,001
4,50	1,06	5,56	1,236	1,172	+ 0,022
1,00	0,40	1,40	1,400	1,150	0,000
				1,150	

Tab. 18b.

Unterschiedsschwelle für *A*.

r	$\triangle r$	R	$\frac{R}{r}$	b	f
46,95	10,5	57,45	1,224	1,217	— 0,050
32,78	9,88	42,66	1,301	1,288	+ 0,021
20,76	6,56	27,32	1,316	1,295	+ 0,028
11,24	3,18	14,42	1,283	1,250	— 0,017
4,50	1,99	6,49	1,442	1,333	+ 0,066
1,00	0,55	1,55	1,550	1,222	— 0,045
				1,267	

Der nächste Schritt bezweckte nun, die Gröfse des Reizes *M* zu bestimmen, der das Mittel zweier willkürlich gewählter Reize *R* und *r* zu sein schien. Diese Bestimmungen wurden ebenfalls von beiden vorigen Beobachtern *K* und *A* ausgeführt. Wir betrachten vorerst die von *K* gewonnenen, in Tab. 19 wiedergegebenen Resultate. Unter den Überschriften *R* und r sind hier die willkürlich gewählten Grenzen, unter *M* die durch

Tab. 19.

Unterschiedsvergleichung für *K*.

R	r	M	R_g	$R + 1{,}67$	$r + 1{,}67$	M_1
46,95	1	14,78	6,85	48,62	2,67	9,7
32,78	1	9,34	5,73	34,45	2,67	7,9
20,76	1	6,75	4,56	22,43	2,67	6,0
11,24	1	4,14	3,35	12,91	2,67	4,2
46,95	11,24	24,00	22,97	48,62	12,91	23,2
46,95	4,50	20,91	14,53	48,62	6,17	15,6
32,78	4,50	14,19	12,15	34,45	6,17	12,9

die Versuche gefundene Mitte angegeben. Die Gröfse sollte, wenn Gleich. 45 gültig ist, das geometrische Mittel von R und r sein; man sollte also haben: $M = R_g = \sqrt{R \cdot r}$. In der Kolonne R_g sind die berechneten Werte $R_g = \sqrt{R \cdot r}$ angeführt. Die Gröfsen weichen, wie man sieht, von den empirisch gefundenen M so stark ab, dafs keine Rede davon sein kann, M als $= R_g$ zu betrachten. Dasselbe gilt (vgl. Tab. 20) in noch höherem Grade von den vom Beobachter A gefundenen Zahlen. Hieraus zieht Ament nun den, dem Anschein nach, berechtigten Schlufs, dafs ebenmerkliche Unterschiede also nicht gleichgrofs sein können.

Gegen diese Konklusion läfst sich doch mancherlei einwenden. Erstens kann man nur erwarten, dafs Gleich. 45 innerhalb des Reizumfangs gültig ist, wo das Webersche Gesetz gilt. Dies hebt Ament selbst hervor; obgleich er das Webersche Gesetz aber nur für Reize zwischen den Grenzen 11,24 und 32,78 gültig findet, wendet er dennoch bei allen Versuchen nach der Methode der mittleren Abstufungen sowohl höhere als niedrigere Werte von R und r an. Ich gestehe, dafs es mir ganz unbegreiflich ist, was dies bezweckt. Nur wo das Webersche Gesetz gültig ist, kann davon die Rede sein, Gleich. 45 gültig zu finden. Nichtsdestoweniger verlangt Ament, sie solle auch für Reize gelten, hinsichtlich deren die notwendige Voraussetzung nicht erfüllt ist. Das ist mindestens keine gute Logik. Wenn Ament einen so naheliegenden und wesentlichen Fehler in seiner Behandlung der Zahlen übersehen hat, kann es kein Erstaunen erregen, dafs er auch andere, weniger auffallende Irrtümer begangen hat. Ich verlasse nun Herrn Ament und seine Räsonnements und schreite zur Untersuchung, welche Resultate sich mit Recht aus den vorliegenden Versuchen herleiten lassen.

Erstens sahen wir im Vorhergehenden bei der Betrachtung der Merkelschen Versuche, dafs man für Schallempfindungen nicht $R/r =$ konst. hat; dagegen gilt:

$$\frac{R+x}{r+x} = b \quad \ldots . \text{(Gleich. 44)}.$$

Wenden wir diese Gleichung nun sowohl auf Tab. 18a als auf Tab. 18b an, so sind wir im stande, auf dieselbe

Digitized by Google

Weise wie oben (S. 102) einen annähernden Wert von x für jede der beiden Tabellen zu bestimmen[1]. Wir erhalten dann für Tab. 18a: $x = 1{,}67$ und für Tab. 18b: $x = 1{,}48$. Jede der beiden Versuchsreihen ergibt also fast denselben Wert von x, was sie ja auch gerne sollten, da das Tagesgeräusch eine vom Beobachter unabhängige Gröfse sein mufs. Werden diese Zahlen in Gleich. 44 eingesetzt, so haben wir:

$$\text{für Tab. 18a: } b = \frac{R + 1{,}67}{r + 1{,}67}$$

$$\text{und für Tab. 18b: } b = \frac{R + 1{,}48}{r + 1{,}48}$$

Durch successives Einsetzen der zusammengehörenden Werte von R und r in diese Formeln läfst sich b berechnen, und die erhaltenen Zahlen sind in den Tabellen 18a und b unter der Überschrift b gegeben. Für jeden einzelnen Beobachter sind die Werte annähernd konstant; für Tab. 18a ist das Mittel 1,150, für Tab. 18b 1,267. Die Abweichungen der einzelnen Gröfsen von diesen Mitteln sind unter der Überschrift f gegeben. Wie man sieht, sind die Fehler ziemlich grofs, besonders wenn man sie mit den entsprechenden der Merkelschen Versuche (Tab. 16) vergleicht; das kann uns aber nicht in Erstaunen setzen, da hier wahrscheinlich, wie oben bemerkt, konstante Fehler der Instrumente Einflufs übten. Übrigens zeigen sie keine gesetzmäfsigen Variationen, und man darf deshalb Gleich. 44 als auch für diese Versuche gültig betrachten.

Wir sehen also, dafs das Webersche Gesetz auch hier nicht in seiner reinen Gestalt gültig ist, was von Ament vorausgesetzt wurde, und dafs zu den ge-

[1] Streng genommen hätten x und b mittels der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden sollen, wodurch man zugleich die wahrscheinlichsten Werte dieser beiden Unbekannten finden würde. Überwältigende Schwierigkeit würde dies allerdings nicht verursachen, wohl aber eine Masse unnötiger Berechnungen erfordern, die ich mir hier und in mehreren ähnlichen Fällen ersparen zu können glaubte. Die genaue Bestimmung von Konstanten, die nur für ein einzelnes Individuum unter gegebenen Bedingungen gelten, hat nur geringes Interesse; uns kommt es nur darauf an, die Gültigkeit der Gleichungen zu prüfen, und das kann ebensogut geschehen, ohne den grofsen Apparat der Fehlerausgleichung in Anwendung zu bringen.

messenen Reizen ein konstanter Addend hinzuzufügen ist. Hieraus folgt, dafs man nicht erwarten kann, Gleich. 45 für gleichgrofse Empfindungsunterschiede gültig zu finden, und dafs man dagegen haben mufs:

$$\frac{R+x}{M_1+x}=\frac{M_1+x}{r+x}, \text{ oder } M_1=\sqrt{(R+x)(r+x)}-x\,. \text{ (Gl. 46).}$$

Für die von K ausgeführten Messungen fanden wir $x = 1{,}67$; für die von diesem Beobachter ausgeführten Bestimmungen nach der Methode der mittleren Abstufungen müssen wir folglich haben:

$$M_1=\sqrt{(R+1{,}67)(r+1{,}67)}-1{,}67.$$

Werden hier successiv die der Tab. 19 entnommenen zusammengehörenden Werte von R und r eingesetzt, so läfst sich das entsprechende M_1 berechnen; die auf diese Weise berechneten Gröfsen sind in Tab. 19 unter der Überschrift M_1 gegeben. Man sieht, dafs M_1 dem experimentell bestimmten M bedeutend näher kommt, als mit R_g der Fall ist; jedoch wird die Abweichung des M_1 von M um so gröfser, je gröfser R ist, was anzeigt, dafs auch Gleich. 46 für diese Versuche nicht streng gültig ist. Noch ungünstiger wird das Verhältnis, wenn wir die entsprechenden, von A ausgeführten Messungen betrachten, die in Tab. 20 wiedergegeben sind. Hier sind

Tab. 20.

Unterschiedsvergleichung für A.

R	r	M	R_g	M_1	$\sqrt{s}$
46,95	1	19,47	6,85	9,5	1,90
32,78	1	11,94	5,73	7,7	1,46
20,76	1	8,16	4,56	6,0	1,30
11,24	1	4,88	3,35	4,2	1,11
46,95	11,24	26,12	22,97	23,3	1,11
46,95	4,50	23,32	14,53	15,5	1,46
32,78	4,50	15,11	12,15	12,8	1,16

ebenfalls R und r nebst dem experimentell bestimmten M angegeben, ferner das aus Gleich. 45 berechnete R_g und das aus Gleich. 46 mit $x = 1{,}48$ berechnete M_1. Wie man sieht, ist M_1 durchweg gröfser als R_g und nähert sich also den gefundenen M mehr, die Abweichungen

Digitized by Google

sind hier jedoch überaus grofs, so dafs von der Gültigkeit der Gleich. 46 gar nicht die Rede sein kann.

Trotz des nachgewiesenen Mangels an Übereinstimmung der Berechnung mit der Messung sind wir dennoch durchaus nicht gezwungen, der von Ament gezogenen Konklusion beizutreten. Die gefundenen Werte von *M* sind nämlich mit einem sehr bedeutenden Zeitfehler behaftet, von dem sich leicht nachweisen läfst, dafs er die ganze Nichtübereinstimmung verursacht. In seinem verdienstlichen Werke: »Zur Analyse der Unterschiedsempfindlichkeit« wies G. E. Müller nach, dafs nicht jeder Zeitfehler sich eliminieren läfst, indem man nur die Zeitfolge der Reize umkehrt. Dies weifs Ament, der denn auch nach einem möglichen Zeitfehler späht; obschon er einen solchen an einem einzelnen Punkte findet, entgeht derselbe am entscheidenden Orte seiner Aufmerksamkeit aber gänzlich. Ich werde dies nun näher nachweisen und die nötigen Korrektionen des Zeitfehlers einsetzen.

Mit allen früheren Forschern auf diesem Gebiete übereinstimmend findet Ament, dafs zwei aufeinanderfolgende gleichgrofse Schallreize nicht dieselbe Empfindung hervorrufen; der zweite wird als stärker denn der erste aufgefafst. Bei der Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit hat dies zur Folge, dafs man, je nachdem R oder r zuerst kommt, nicht denselben Wert für R erhält. Bezeichnen wir die beiden Werte von R als R_I, wenn R zuerst kommt, und als R_{II}, wenn r zuerst kommt, so mufs $R_I > R_{II}$ sein, denn kommt R zuerst, so wird das nachfolgende r eine verhältnismäfsig zu starke Empfindung geben, und R mufs folglich einen etwas gröfseren Wert erhalten, als der Fall sein würde, wenn man r nicht relativ zu stark auffafste. Kommt umgekehrt R zuletzt, so wird dasselbe als verhältnismäfsig stark aufgefafst, und die Differenz $R - r$ mufs folglich verhältnismäfsig klein sein, wenn R als nur ebenmerklich von r verschieden aufgefafst werden soll. Dafs R_{II} wirklich kleiner wird als R_I, geht auch deutlich aus Aments Tab. XV hervor, wo er diese Zeitfehler bespricht. Aus derselben Tabelle ist ebenfalls zu ersehen, dafs der Unterschied $R_I - R_{II}$ mit r anwächst. Dies heifst mit anderen Worten, dafs der Zeit-

Digitized by Google

fehler um so gröſser wird, je stärker die Reize sind. Die Zeitfolge zweier Schallreize, A und B, hat mithin den Einfluſs, daſs der letztere, B, zu betrachten ist, als wäre er um eine mit B anwachsende Gröſse vermehrt. Man darf also nicht mit B rechnen, sondern mit $B + a \cdot B = B(1 + a) = B \cdot Q$, indem man $1 + a = Q$ setzt. Hier muſs Q der Natur der Sache zufolge > 1 sein, ob Q sonst aber ein konstanter Faktor ist, bleibt ganz unentschieden; es ist sehr wohl denkbar, daſs $Q = F(A, B)$. Wenden wir diese Betrachtung nun auf die Bestimmungen der Unterschiedsempfindlichkeit an, so sehen wir folgendes Verhalten. Kommt R zuerst, so finden wir für dasselbe den Wert R_I, der einem r entspricht, das als $r \cdot Q$ zu rechnen ist, weil r zuletzt kommt. Umgekehrt, wenn r zuerst kommt. Dann finden wir für R den Wert R_{II}, der als $R_{II} \cdot Q$ zu rechnen ist, weil R zuletzt kommt. Man erhält also zwei verschiedene Ausdrücke für die Unterschiedsempfindlichkeit: $R_I / r \cdot Q$ und $R_{II} \cdot Q / r$. Es ist nun ganz einleuchtend, daſs man den Zeitfehler Q nicht dadurch eliminiert, daſs man, wie Ament, das Mittel $(R_{II} + R_I)/2$ nimmt. Die einzige Weise, wie Q sich eliminieren läſst, ist die, daſs man setzt:

$$\frac{R_I}{r \cdot Q} = \frac{R_{II} \cdot Q}{r}, \text{ woraus } Q = \sqrt{\frac{R_I}{R_{II}}}$$

Wird Q daher als $\sqrt{R_I / R_{II}}$ bestimmt, so kann man den gefundenen Wert entweder in $R_I / r \cdot Q$ oder in $R_{II} \cdot Q / r$ einsetzen, und in beiden Fällen wird man zu demselben Werte gelangen. Es leuchtet indes ein, daſs die drei Brüche:

$$\frac{R_I}{r \cdot Q}, \quad \frac{R_{II} \cdot Q}{r} \text{ und } \frac{\frac{1}{2}(R_I + R_{II})}{r}$$

gewöhnlich so nahe aneinander fallen werden, daſs man nur einen unwesentlichen Fehler begeht, wenn man, wie es meistens geschieht, mit dem letzten statt mit einem der beiden anderen rechnet.

Ganz anders stellt sich dagegen die Sache, wenn man drei aufeinanderfolgende Reize hat. Ament benutzt hier zwei verschiedene Zeitfolgen, nämlich R, M, r und r, M, R. Für diese beiden Zeitfolgen findet er nur ganz unbedeutende Unterschiede der gefundenen Werte

Digitized by Google

von M[1], und er schliefst hieraus, dafs hier kein Zeitfehler vorkomme, so dafs er das Mittel der beiden Werte des M als den richtigen gebrauchen könne. Dieser Schlufs verrät wieder, dafs die Logik des Herrn Ament der von ihm behandelten Aufgabe nicht gewachsen ist. Denn freilich könnte es sich so verhalten, wie er annimmt, anderseits läfst sich aber die Möglichkeit nicht ausschliefsen, dafs ein Zeitfehler vorkommt, und dafs dieser in den beiden Zeitfolgen dieselbe Wirkung auf den Wert des M hat. In diesem Falle wird man also bei beiden Zeitfolgen für M dieselbe Gröfse finden, und die Folge dieses Umstands wird dann ganz einfach die, dafs der Zeitfehler sich hier nicht dadurch eliminieren läfst, dafs man das Mittel der Werte von M nimmt. Ament verfährt hier mit sonderbarem Leichtsinn, da er es unterläfst, die Haltbarkeit seiner Folgerung zu kontrollieren; durch einen einzelnen Versuch hätte er sich bald von seinem Irrtum überzeugen können. Findet sich nämlich kein Zeitfehler in den Zeitfolgen R, M, r und r, M, R, so mufs auch jede andre Zeitfolge, z. B. R, r, M denselben Wert von M herbeiführen. Hätte Ament nur eine solche Bestimmung unternommen, so würde er sogleich gesehen haben, dafs M in diesem Falle bedeutend geringeren Wert erhält als in den beiden erstgenannten Zeitfolgen, so dafs der Zeitfehler hier also ebenso wie bei zwei Reizen wirkt. Der Versuch ist aber insofern ganz überflüssig, da Merkel schon längst dargelegt hat, dafs bei drei successiven Schallreizen ein ähnlicher Zeitfehler entsteht wie bei zwei Reizen, indem der letzte in der Reihe stärker aufgefafst wird, als er thatsächlich ist[2].

---

[1] Vgl. Tab. XVI. An citiertem Orte S. 183.

[2] Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung. Phil. Stud. Bd. X. S. 245 u. f. Wenn ich es vorzog, das Verhältnis auf die oben benutzte Weise auszudrücken, so geschah das ausschliefslich, um jede Andeutung einer bestimmten Theorie von der Ursache des Zeitfehlers zu vermeiden. Indes sagt Merkel (ibid. S. 246): »Bemerken will ich noch, dafs mir die Annahme näher liegen würde, die beiden ersten Reize würden geschwächt, der dritte in seiner wahren Gröfse aufgefafst.« Will man diese Auffassung zu Grunde legen, so müssen die vorhergehenden Reize also mit $1/S$ multipliziert werden, wo $S > 1$,

Gehen wir nun von dieser Thatsache aus, so können wir leicht zeigen, dafs die von Ament gefundenen Resultate völlig erklärlich sind. Da der letzte Reiz einer Reihe stärker aufgefafst wird, als er thatsächlich ist, kann man also nicht mit seiner wirklichen Gröfse rechnen, sondern mufs diese mit einem Faktor S multiplizieren, von dem wir vorläufig weiter nichts wissen, als dafs $S > 1$ ist[1]. Bei der Zeitfolge R, M, r wird r also wirken, als hätte es die Gröfse $S \cdot r$, und man mufs daher haben:

$$\frac{R}{M} = \frac{M}{S \cdot r}, \text{ woraus } M = \sqrt{S \cdot Rr} \; . \; . \; . \; . \text{ (Gleich. 47).}$$

Bei der Zeitfolge r, M, R ist R als $S \cdot R$ zu berechnen, und man erhält also:

$$\frac{S R}{M} = \frac{M}{r}, \text{ woraus } M = \sqrt{S \cdot Rr} \; . \; . \; . \; . \text{ (Gleich. 47).}$$

Man sieht also, dafs man in beiden Fällen zu demselben Werte von M kommt, was Ament gerade fand; seine Zahlen kommen einander jedenfalls so nahe, dafs die Abweichungen als zufällige Fehler zu betrachten sind[2]. Diese Übereinstimmung zeigt deutlich, dafs M mit einem Zeitfehler behaftet ist, der sich dadurch, dafs man das Mittel der durch die beiden Zeitfolgen erhaltenen Werte nimmt, nicht eliminieren läfst. Da Gleich. 47 ferner $M = R_g \cdot \sqrt{S}$ geschrieben werden kann, indem $R_g = \sqrt{R \cdot r}$ ist, sieht man hieraus, wie der Zeitfehler gerade zur Folge hat, dafs das experimentell gefundene M gröfser wird als das geometrische Mittel der Reize, was auch nach der Erfahrung der Fall ist. Da wir

---

führt man aber die Berechnungen unter dieser Voraussetzung durch, so kommt man zu denselben Ergebnissen, die wir oben fanden und unten (S. 115) finden werden. Es ist also einerlei, wie man hier rechnet.

[1] Ich bezeichne den Zeitfehler hier deshalb durch S und nicht wie oben durch Q, da keine Notwendigkeit vorliegt, dafs $S = Q$ wäre.

[2] Wenn Merkel (l. c. S. 240 u. f.) nicht zu identischen Werten für die beiden Zeitfolgen gelangt, kann dies seinen Grund in der Art und Weise haben, wie er M bestimmt. Da es, wie Ament nachwies, verschiedene andere Verhältnisse gibt, die auf M Einflufs üben, ist es Merkel vielleicht nicht völlig gelungen, alle diese Einflüsse zu eliminieren. Aufserdem ist der Zeitfehler von dem Zeitraum zwischen den drei Reizen abhängig (vgl. unten S. 117); schon hierdurch kann die Verschiedenheit der Resultate erklärt werden.

aber, um von dem konstanten Tagesgeräusche zu korrigieren, jeden der gemessenen Reize um einen konstanten Addenden vergröfsern müssen, wird es streng genommen nicht Gleich. 47, sondern:

$$M = \sqrt{S \cdot (R + x)(r + x)} - x \quad \ldots . \text{(Gleich. 48)},$$

die für diese Versuche gültig ist. Da nun aber nach Gleich. 46:

$$(R + x)(r + x) = (M_1 + x)^2,$$

so erhält man durch Einsetzung dieses Ausdrucks:

$$M = (M_1 + x)\sqrt{S} - x = M_1 \sqrt{S} + x(\sqrt{S} - 1).$$

Da $S > 1$, ist auch $\sqrt{S} > 1$, und folglich wird das experimentell gefundene, mit dem Zeitfehler behaftete M gröfser als das aus Gleich. 46 berechnete M_1; die Richtigkeit hiervon geht auch aus Tab. 20 hervor. Es scheint also keinen Zweifel erleiden zu können, dafs Gleich. 48, in welchem dem thatsächlich vorkommenden Zeitfehler Rechnung getragen ist, die von Ament nachgewiesenen Eigentümlichkeiten völlig zu erklären vermag. Freilich ist hierzu zu bemerken, dafs es keineswegs gegeben ist, S werde sich als konstante Gröfse erweisen; es ist sehr wohl möglich, dafs S eine Funktion der Reize selbst ist. Dies scheint wenigstens aus den vorliegenden Messungen hervorzugehen. Aus Gleich. 48 erhalten wir nämlich folgenden Ausdruck für $\sqrt{S}$:

$$\sqrt{S} = \frac{M + x}{\sqrt{(R + x)(r + x)}} = \frac{M + x}{M_1 + x}$$

Nimmt man hier $x = 1{,}48$ und setzt man die aus Tab. 20 genommenen zusammengehörenden Werte für M und M_1 ein, so erhält man die in derselben unter der Überschrift $\sqrt{S}$ angeführten Gröfsen. S ist also keine konstante Gröfse; sie wächst mit R und mit abnehmenden Werten von r; annäherungsweise ist sie dem log. (R/r) proportional. Dieser Umstand, dafs der Zeitfehler eine Funktion eben der Gröfse der Reize ist, erscheint recht merkwürdig und scheint anzudeuten, dafs der Zeitfehler u. a. von einer »Bahnung« (siehe den Abschnitt »Dynamische Erklärung der Aufmerksamkeit«) herrührt, welche jede Empfindung zu gunsten der nachfolgenden ausführt. Dies schliefst aber durchaus nicht aus, dafs auch die abnehmende Stärke der Erinnerungsbilder der

Digitized by Google

zuerst gehörten Empfindungen eine wesentliche Rolle spielt[1]. Im Gegenteil scheint die von Stern aufs neue festgestellte Thatsache, dafs der Zeitfehler bei einem Zwischenraum von 6 Sekunden zwischen den Empfindungen am kleinsten ist[2], zu zeigen, dafs wir hier mit einer ziemlich komplizierten Erscheinung zu schaffen haben, die wahrscheinlich von mehreren zusammenwirkenden Ursachen herrührt. Nimmt man an, dafs die Erinnerungsbilder einigermafsen gleichmäfsig an Stärke abnehmen, und dafs die Bahnung sich mit abnehmender Stärke während eines Zeitraums von ungefähr 6 Sekunden geltend macht, so wird ein Zusammenwirken dieser beiden Ursachen gerade die empirisch gefundenen, anscheinend periodischen Variationen des Zeitfehlers zur Folge haben. Es wird offenbar ein sehr interessantes Ziel künftiger Untersuchungen sein, die Gröfse und die Ursachen des Zeitfehlers völlig ins reine zu bringen, wir können uns hier aber natürlich nicht darauf einlassen. Wir müssen uns darauf beschränken, festzustellen, was für uns die Hauptsache ist:

Durch Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen auf die Schallempfindungen wird ein Zeitfehler eingeführt, der sich nicht eliminieren läfst, wenn man M nur durch die beiden Zeitfolgen R, M, r und r, M, R bestimmt. Dieser Zeitfehler bewirkt, dafs man in jeder der beiden Zeitfolgen denselben Wert für M findet, und dafs der auf diese Weise gefundene Wert gröfser wird als der aus dem korrigierten Weberschen Gesetze berechnete. Bis es entschieden dargethan wird, dafs der Zeitfehler die Abweichung der Berechnung von der Messung nicht völlig zu erklären vermag, ist es deshalb ganz unberechtigt, in dieser Abweichung ein Zeichen zu erblicken, dafs die ebenmerklichen Unterschiede keine gleichgrofsen Empfindungsunterschiede wären.

---

[1] Phil. Stud. Bd. VII. S. 205 u. f.

[2] Die Wahrnehmung von Tonveränderungen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. XXI. S. 377 u. f.

Digitized by Google

Es hat indes nur geringe Wahrscheinlichkeit, dafs der Zeitfehler nicht genügen sollte, um die genannte Abweichung zu erklären. Denn wenn man rücksichtlich der Schallempfindungen zu der Annahme gezwungen werden sollte, dafs die ebenmerklichen Unterschiede nicht gleichgrofs wären, so müfste konsequent auch angenommen werden, dafs dies für Lichtempfindungen gölte. Auf diesem Gebiete gibt es für eine solche Annahme aber durchaus keinen Anhaltspunkt. Für Lichtempfindungen gilt nämlich nicht das Webersche Gesetz, sondern das durch Gleich. 28 (oder Gleich. 43) ausgedrückte Unterscheidungsgesetz. Geht man nun davon aus, dafs die ebenmerklichen Unterschiede gleichgrofs sind, so folgt aus Gleich. 28, dafs man für zwei gleichgrofse Empfindungsunterschiede das in Gleich. 30 ausgedrückte Verhältnis zwischen den drei Reizen haben mufs. Es wurde aber dargethan, dafs Gleich. 30 für die nach der Methode der mittleren Abstufungen ausgeführten Messungen gültig ist (S. 77 u. f.). Hieraus folgt nun geradezu die Richtigkeit unserer Voraussetzung: die ebenmerklichen Unterschiede sind gleichgrofse Empfindungsunterschiede.

Da der aus dem Unterscheidungsgesetze für Lichtempfindungen abgeleitete Ausdruck für gleichgrofse Empfindungsunterschiede mit den vorliegenden Messungen nach der Methode der mittleren Abstufungen übereinstimmt, so ist hierdurch hinsichtlich des Lichtsinnes dargethan, dafs ebenmerkliche Unterschiede gleichgrofs sind.

DIE ERGOGRAPHISCHEN METHODEN.

Ergographie mit konstantem und mit variablem Gewichte. Die ergographischen Untersuchungen haben den Zweck, die Gesetze für die Gröfse derjenigen Arbeit zu finden, welche ein Muskel oder eine Muskelgruppe unter bestimmten Verhältnissen auszuführen vermag. Bei diesen Untersuchungen verfuhr man bisher auf zweifache Art, indem man teils eine rein physiologische,

Digitized by Google

die myographische, Methode anwandte, bei der das Versuchsmaterial tote Tiere oder einzelne präparierte Muskeln waren, teils eine psychophysiologische Methode, die ergographische in engerem Sinne, benutzte, bei der das Versuchsmaterial lebendige Menschen waren. Jede dieser Methoden hat ihre Vorzüge und ihre Mängel. Bei der myographischen Methode ist man der Natur der Sache zufolge vollständig vor nicht zu berechnenden, störenden Faktoren geschützt, man beherrscht alle äufseren Verhältnisse, den Stoffwechsel des Muskels und die Stärke der motorischen Innervationen. Die Methode hat aber den unvermeidlichen Übelstand, dafs der Muskel nach Verlauf kurzer Zeit, die sich höchstens nach Stunden rechnen läfst, stirbt. Sie gestattet deshalb nur in sehr geringem Umfange vergleichende Untersuchungen über den Einflufs verschiedener Verhältnisse auf denselben Muskel. Derartige Versuche lassen sich dagegen nach unbegrenztem Mafsstabe am lebendigen Menschen anstellen, anderseits hat man hier aber alle Mifslichkeiten zu bekämpfen, die bei jeder Art von Versuchen an Menschen unvermeidlich sind, nämlich die zufällige, gröfsere oder geringere Disposition, die plötzlichen, durch äufsere oder innere Umstände veranlafsten Schwankungen der Aufmerksamkeit, die Unsicherheit der Selbstbeobachtung, die besonders hier die genaue Messung der motorischen Innervationen ersetzen mufs, u. s. w. Hieraus folgt, dafs jede der beiden Methoden ihre Gebiete hat, wo nur sie allein zur Anwendung kommen kann, und dafs beide sich auf den gemeinschaftlichen Gebieten ergänzen und supplieren können; es sind in der That auch bedeutende Resultate durch das Zusammenwirken der beiden Methoden erzielt worden.

Es kann hier keine Rede davon sein, eine auch nur kürzere Übersicht der bisher durch diese Untersuchungen gewonnenen Resultate zu geben; dazu ist die bereits vorliegende Litteratur gar zu umfangreich. Aufserdem wurde eine solche geschichtliche Darstellung vor kurzem von J. Joteyko[1] gegeben; an diese Arbeit, die über-

---

[1] Revue générale sur la fatigue musculaire. L'année psychologique. Bd. V. Paris 1899.

dies ein ziemlich ausführliches Litteraturverzeichnis umfaſst, wende man sich daher, wenn man sich mit der Lage der Sache bekannt zu machen wünscht. Wir haben um so weniger Grund, einen geschichtlichen Bericht über das bis jetzt Vorliegende abzustatten, da das meiste desselben für unsere speziellen Untersuchungen ohne Bedeutung ist. Was unter den gewonnenen Resultaten im Folgenden zur Anwendung kommt, werden wir, je nachdem es notwendig ist, zu rechter Zeit erklären. Viel wird es auſserdem nicht, da alle früheren Untersuchungen nach einer Versuchsanordnung angestellt wurden, die an und für sich sehr gut sein mag, die sich aber nicht zur Lösung derjenigen Probleme eignet, welche uns hier zunächst interessieren. Sowohl die myographischen als die eigentlich ergographischen Versuche wurden bisher nämlich auf die Weise ausgeführt, daſs man den arbeitenden Muskel auf ein konstantes Gewicht wirken lieſs. Wird nun der Muskel innerviert — entweder auf künstliche Weise mittels eines Induktionsstromes, oder auf natürliche Weise, vom Zentralorgan her — und kontrahiert er sich hierdurch möglichst stark, so wird er mithin das Gewicht heben. Durch die auf diese Weise ausgeführte Arbeit wird der Muskel natürlich ein wenig ermüden, und durch fortwährende Wiederholung derselben Innervation in regelmäſsigem Takte gelangt man früher oder später bis an den Punkt, wo der Muskel so stark ermüdet ist, daſs er die Last nicht mehr bis zur völligen Höhe zu heben vermag. Jede folgende Kontraktion wird nun kleiner als die zunächst vorhergehende, bis der Muskel schlieſslich gar nicht im stande ist, die Last zu heben. Es ist leicht zu ersehen, daſs man hier an den fortwährend abnehmenden Höhen, bis zu denen die Last gehoben wird, ein Maſs für die wachsende Ermüdung hat. Und nimmt man nur auf die ganze Summe von Arbeit Rücksicht, welche der Muskel von Anfang an bis er nicht mehr kann, ausführt, so wird man an dieser totalen Arbeitsmenge ein Maſs für die Arbeitsfähigkeit des Muskels haben. Auf diese Weise kann man die Arbeitsfähigkeit des Muskels unter verschiedenen Verhältnissen untersuchen, was wenigstens bei ergographischen Versuchen an Menschen möglich

Digitized by Google

ist. Mossos[1] und später Kraepelins[2] Untersuchungen haben gezeigt, wie bedeutende Resultate sich auf diesem Wege erreichen lassen.

Indes klebt diesen ergographischen Messungen mit konstantem Gewicht doch ein Mangel an, nämlich der, dafs der Muskel bei jeder Kontraktion nicht die möglichst grofse Arbeit verrichtet, die er im gegebenen Augenblick zu leisten vermag. Nimmt man die Last etwas kleiner als das maximale Gewicht, das der Muskel überhaupt bis zur vollen Höhe zu heben vermag, so werden die ersten Muskelkontraktionen offenbar weniger Arbeit liefern, als der Muskel geleistet haben würde, wenn die Last gröfser gewesen wäre. Und hören schliefslich die Kontraktionen auf, weil der Muskel ermüdet ist, so würde er noch eine grofse Menge Arbeit geliefert haben können, wenn er mit einem geringeren Gewichte belastet wäre. Wie diese Versuche gewöhnlich angestellt wurden, erhält man also sowohl am Anfange als am Schlusse des Versuches gar zu geringe Arbeitsleistung. Dieser Einwurf gegen Mossos Ergographen mit konstantem Gewicht wurde früher bereits von Binet[3] erhoben und veranlafste den letztgenannten, einen Ergographen mit variablem Gewichte zu konstruieren, der das Gewicht durch eine mehr oder weniger gespannte Feder ersetzte, so dafs der Muskel bei jeder einzelnen Kontraktion sein Maximum der Arbeit leistet. Dafs diese Anordnung bei gewissen Untersuchungen geradezu notwendig ist, werden wir sogleich sehen; es scheint mir indes, dafs man Mossos Apparat nicht mit Binet als falsch konstruiert betrachten kann, da derselbe bei zahlreichen Untersuchungen sehr befriedigend zu wirken vermag.

Der Zweck der im Folgenden behandelten ergographischen Untersuchungen sollte, wie in der Einleitung erwähnt, der sein, wo möglich ein mechanisches Mafs unserer Bewufstseinszustände zu finden. Nun kann ein

[1] Mosso, Die Ermüdung. Leipzig 1892.

[2] Hoch & Kraepelin, Über die Wirkung der Theebestandteile au' körperliche und geistige Arbeit. Kraepelin, Psycholog. Arbeiten. Bd. I. Leipzig 1896.

[3] Un nouvel Ergographe. L'année psychologique. Bd. IV. Paris 1898.

Digitized by Google

Bewuſstseinszustand wahrscheinlich nur auf eine einzige Weise auf die Muskelarbeit einwirken, dadurch nämlich, daſs er auf die zentrale Innervation der Muskeln einwirkt. Soll man aber den Einfluſs eines psychischen Zustandes auf die Innervation spüren können, so muſs deren Gröſse offenbar vorher bekannt sein. Wir haben jedoch kein direktes Maſs für die Gröſse der Innervation oder eine Empfindung von derselben. Es gibt nur eine einzige Gröſse der Innervation, die wir zu jeder Zeit mit Sicherheit zu leisten vermögen, und das ist die maximale. Natürlich ist es keineswegs gegeben, daſs diese maximale Anspannung unter allen Umständen wirklich einer Innervation von konstanter Gröſse entspricht; jedenfalls lieſse es sich sehr wohl denken, wie Ermüdung und dgl. mit sich bringen würde, daſs durch möglichst groſse Anspannung von seiten des Individuums immer mehr abnehmende Innervationen hervorgerufen würden. Dies wäre natürlich vorher zu untersuchen, so daſs die Bedingungen, unter welchen man annehmen dürfte, daſs der möglichst groſsen Anstrengung von seiten des Individuums wirklich auch eine konstante Innervation entspreche, uns bekannt wären. Selbst wenn wir diese Bedingungen aber kennten, wäre die Sache damit doch nicht in Ordnung. Damit man bei jeder einzelnen Muskelkontraktion maximal innervieren kann, muſs noch eine andre Forderung erfüllt sein, nämlich die, daſs der Rezeptionsapparat, der Ergograph, den notwendigen Widerstand leistet. Druck und Gegendruck müssen stets gleichgroſs sein. Man kann nicht mit einer Kraft von 10 Kilo wirken, wenn der Widerstand nur 5 Kilo beträgt. Folglich muſs der Ergograph notwendigerweise so eingerichtet sein, daſs sein Widerstand gegen die Muskelkontraktion immer mehr wächst, je mehr der Muskel verkürzt wird, und bevor die gröſste Verkürzung erreicht ist, muſs der Widerstand so groſs geworden sein, daſs der Muskel ihn nicht zu überwinden vermag. Ein derartiger Ergograph wird offenbar jede beliebige Arbeit annehmen können, einerlei ob diese bei dem kräftigen und frischen Muskel sehr groſs ist, oder ob sie wegen Ermüdung des Muskels nur klein wird. Die Anwendung eines Apparats dieser Art wird also die erste und unumgängliche Bedingung, damit

unsere Untersuchungen zu dem gewünschten Resultate führen können. Ich werde nun vorerst den von mir benutzten Apparat beschreiben.

Am bequemsten wäre es ja gewesen, ganz einfach den von Binet konstruierten Ergographen zu benutzen. Dies that ich jedoch nicht, weil es mir scheint, dafs derselbe noch an gewissen Mifslichkeiten leidet, die für meine Versuche unheilbar werden könnten. Sowohl an Binets als an Mossos Ergographen arbeitet nur ein einzelner Finger. Hand und Arm müssen also völlig fest liegen, damit man sicher sein kann, dafs die Arbeit wirklich von den Muskeln des Fingers ausgeführt wird. Vermag der Arm sich nur ein ganz klein wenig auf der Unterstützung zu bewegen, so wird es eine leichte Sache sein, die Last zu heben, ohne den Finger zu krümmen, indem man nur den Arm hin und her gleiten läfst. Natürlich hat sowohl Mosso als Binet dies längst eingesehen und dadurch zu verhindern gesucht, dafs der Arm unbeweglich fest an die Unterlage gespannt wurde. Dies ist aber offenbar eine ziemlich mifsliche Sache. Denn wie wir wissen, nimmt das Volum des Arms wegen des vermehrten Blutzuflusses während der Muskelarbeit ziemlich bedeutend zu. Ist der Arm daher von Anfang an völlig fest gespannt, so scheint mir hieraus folgen zu müssen, dafs die befestigenden Bänder und Riemen während der Arbeit leicht drücken können. Ein solcher Druck wird aber sowohl unangenehm werden als auch durch Hemmung der Blutzirkulation direkt auf die Muskelarbeit influieren können. Von einem idealen Ergographen ist zu verlangen, dafs er Hand und Arm völlig frei läfst, so dafs das Individuum in jedem Augenblicke die Stellung verändern kann, wenn die anfangs gewählte sich während des Verlaufs der Arbeit als weniger zweckmäfsig erweisen sollte. Diese Aufgabe suchte ich durch eine kleine Modifikation des sogenannten Regnierschen Dynamometers zu lösen, das ich aufserdem zur graphischen Registrierung der ausgeführten Arbeit einrichtete. Freilich hat auch das Regniersche Dynamometer seine Übelstände, und diese sind zum Teil sogar so grofs, dafs der Apparat jetzt nur selten mehr benutzt wird; diese Fehler lassen sich aber vermeiden. Um dies nachzuweisen, werde ich

Digitized by Google

nun erst die Form beschreiben, die ich dem Apparate gab, und darauf auseinandersetzen, weshalb die bekannten Mängel des Dynamometers als durch meine Konstruktion beseitigt zu betrachten sind.

Feder-Ergograph für den Druck der Hand. Fig. 2 gibt eine Skizze des Apparats in $^1/_8$ nat. Gröfse, so wie er sich von oben gesehen zeigt. Auf einem 60 cm langen und 15 cm breiten Brette ist eine etwa 5 cm hohe feste Leiste *L* angebracht. Diese Leiste ist an der einen Seite abgerundet, so dafs sie der gegen sie angeprefsten Handfläche eine bequeme Stütze gewährt. In den quadratischen Holzklotz *K*, der mit dem Brette fest verbunden ist und gleiche Höhe wie die Leiste *L* hat, ist eine starke Federwage *F* eingesenkt, welche Züge bis 100 Kilogramm anzeigen kann. Die Federwage ist, wie die Figur zeigt, mittels eines Ringes an einen soliden Haken *A* befestigt; unten ist in der Wage ein anderer Haken *C* angebracht, der an seinem unteren, geradlinigen Ende mit einem Schraubengang versehen ist. Diese Schraube ist durch den Bügel *B* hindurch geführt, der den Handgriff *H* trägt. Durch Vor- oder Rückwärtsschrauben des Bügels am Haken *C* kann man den Abstand zwischen dem Handgriff und der Leiste *L* variieren, so dafs die an *L* gestützte Hand den Handgriff mit den Fingern bequem umfassen kann. (Siehe Fig. 3.) Werden nun die Finger gekrümmt, so wird ein Zug in *H*, mithin auf die Federwage geübt werden; die Gröfse dieses Zuges gibt der Zeiger *V* an. Aufser diesem Zeiger findet sich ein Maximumzeiger V_1, der von *V* während der Bewegung des *V* vorgeschoben, aber nicht mit zurückgenommen wird; er zeigt also den gröfsten erreichten Druck an. Die graphische Aufzeichnung geschieht übrigens folgendermafsen. An der Achse, um die sich der Zeiger *V* dreht, ist oben eine exzentrische Scheibe *S* angebracht.

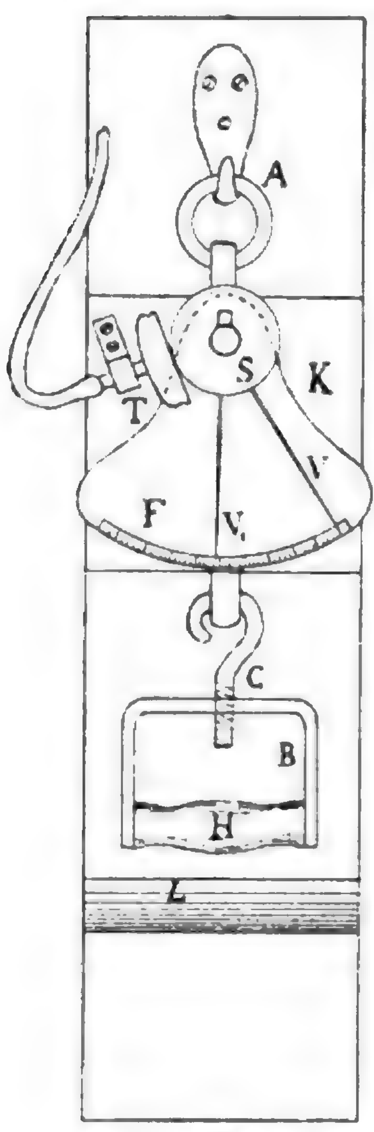


Fig. 2.

Diese dreht sich also zugleich mit *V* und ist so eingestellt, dafs sie während ihrer Umdrehung einen immer mehr wachsenden Druck auf die Gummimembran einer gewöhnlichen Pelotte *T* übt. Um die Membran nicht abzuschleifsen und um den Druck gleichmäfsig zu verteilen, ist an der Mitte der Membran eine dünne, harte hölzerne Scheibe (in Fig. 3 sichtbar) angebracht, gegen die das Exzentrik andrückt. Die Bewegungen der Gummimembran werden mittels Lufttransmission auf einen Mareyschen Schreibtambour übertragen, der die Gröfse des Drucks auf der Walze des Kymographen aufzeichnet.

Um den auf der Walze registrierten Bewegungen passende Gröfse zu geben, ist es notwendig, das Exzentrik einzustellen. Zu diesem Zwecke ist die Scheibe mit einem rektangulären Ausschnitte versehen, der in einen viereckigen Zapfen oben an der die Scheibe tragenden Achse pafst. Wenn man die zirkuläre Scheibe am Zapfen vor- und rückwärts schiebt, kann man die Exzentrizität innerhalb sehr weiter Grenzen verändern, mithin also auch den Druck, den die Scheibe während ihrer Umdrehung auf die Gummimembran übt; durch Probieren findet man dann leicht eine geeignete Gröfse der Exzentrizität. Die Scheibe wird mittels einer Schraubenmutter in der rechten Stellung festgehalten. Macht man die Exzentrizität einigermafsen grofs, so bedarf es offenbar nur einer sehr geringen Vergröfserung der Bewegung durch den Schreibhebel auf dem Kymographen; hierdurch sind die Eigenbewegungen des Schreibhebels leicht zu vermeiden.

Von wesentlicher Bedeutung für die Anwendbarkeit des Ergographen ist, wie oben berührt, der Umstand, dafs der Handgriff *H* nur einen sehr kurzen Weg durchläuft, selbst wenn sehr beträchtliche Drucke ausgeübt werden. Dies ist dadurch leicht zu erreichen, dafs die Feder der Wage hinlänglich steif gemacht wird. Die Feder des hier besprochenen Apparats ist aus zwei parallel liegenden, fest miteinander verbundenen, schraubenförmigen Federn zusammengesetzt. Indem man eine doppelte Feder anwendet und jeder einzelnen Feder eine grofse Anzahl Windungen gibt, erzielt man, dafs die Feder sich während des wachsenden Druckes

Digitized by Google

regelmäſsig, dem Drucke proportional verlängert. In ihrer Totalität ist die Verlängerung nur unbedeutend; bei einem Zuge von 60 Kilogramm — dem gröſsten, bei meinen Versuchen vorkommenden — ergab sich eine Verlängerung um 3 mm. Da der Handgriff sich also, selbst bei den gröſsten Zügen, der festen Leiste nur um wenige Millimeter nähert, verändert die Stellung der Finger sich nur äuſserst wenig, und es wird deshalb möglich, sowohl die gröſsten als die kleinsten Arbeitsmengen auf den Apparat zu übertragen. Wie man nun aus den auf dem Kymographen aufgezeichneten Drucken die ausgeführte Arbeit berechnen kann, wird später erklärt werden, wenn wir zur Bearbeitung des Versuchsmaterials kommen.

Die wesentlichsten Einwürfe, die im Laufe der Zeit gegen das sogenannte Regniersche Dynamometer erhoben wurden, finden sich gesammelt in einer kleinen Abhandlung von Binet & Vaschide: »Critique du dynamomètre ordinaire[1].« Ich gehe diese Einwürfe einzeln durch und weise nach, weshalb sie bei der Modifikation, die ich dem Apparate gegeben habe, ohne Belang sind.

1. »Der Apparat ruft im Innern der Hand einen Druckschmerz hervor, der es der Versuchsperson verwehrt, mit voller Kraft zu arbeiten.« — Diesen Übelstand birgt allerdings das gewöhnliche Dynamometer, wo der Druck der Hand auf eine gebogene, schmale Stahlfeder wirkt. Bei meinem Ergographen wurde nie eine Unannehmlichkeit dieser Art beobachtet, die denn auch schwierig entstehen kann, wenn die Leiste und der Handgriff nur hinlänglich breit und abgerundet sind. Bei andauerndem Arbeiten mit dem Apparat kann sich freilich, wie bei aller anderen manuellen Arbeit, an der inneren Seite der Finger ein Bläschen bilden, ein derartiges Ereignis kann aber höchstens bewirken, daſs die Versuche 24 Stunden ausgesetzt werden.

2. »Einige Menschen schwitzen stark an den Händen, wenn sie arbeiten; der Apparat kann hierdurch ins Gleiten geraten, so daſs kein maximaler Zug ausgeübt wird.« — Auch dies gilt nur, wenn die Hand auf

[1] L'année psychologique. IV. 1898.

Metallfedern wirkt; Holz dagegen wird von einer feuchten Hand fester ergriffen.

3. »Vielen Menschen fällt es schwer, sogleich die rechte Stellung zu finden, die sie der Hand geben sollen; man erhält deshalb nicht immer den maximalen Druck gleich beim ersten Versuche.« — Dieser Einwurf kann freilich Bedeutung haben, wenn man eine einzelne Messung der Stärke des Handdruckes an mehreren, zufällig versammelten Individuen anzustellen wünscht. Handelt es sich dagegen um eine lange Zeit hindurch fortgesetzte Versuchsreihe mit einzelnen, bestimmten Personen, so wird es sicher ganz unwesentlich, ob die ersten paar Züge maximal sind oder nicht. Überdies fordert der Apparat eine Einstellung für jede einzelne Person, indem die Entfernung des Handgriffes von der Leiste der Gröfse der Hand angepafst werden mufs; man mufs daher stets mit einigen vorläufigen Versuchen anfangen, um die rechte Stellung zu finden. Hat man erst für jede einzelne Versuchsperson (V-P) die rechte Entfernung des Handgriffes von der Leiste ein für allemal bestimmt, so wird man mit geübten Individuen immer davon ausgehen können, dafs die folgenden Versuche mit maximalen Drucken beginnen, was die Erfahrung auch bestätigt.

4. »Bei dem Drucke der Hand handelt es sich nicht um die Arbeit eines einzelnen Muskels, sondern um das Zusammenspiel einer grofsen Menge von Muskeln. Der ausgeführte Druck ist deshalb nicht nur von der Stärke der Muskeln abhängig, sondern auch von der Behendigkeit, mit welcher ihre Koordination bewerkstelligt wird. Auch aus diesem Grunde ist es denkbar, dafs die V-P den maximalen Druck nicht sogleich erreicht, sondern erst, wenn sie den Apparat auf rechte Weise ergreift.« — Dieser Einwurf ist ebenso wie der vorige als bedeutungslos zu betrachten, sobald von andauernden Versuchsreihen mit einzelnen V-P die Rede ist. Alle psychologischen Versuche erfordern bekanntlich eine Einübung der V-P, so dafs ähnliche Einwürfe sich streng genommen gegen sämtliche existierende psychophysische und psychophysiologische Mefsapparate erheben liefsen.

5. »Wenn man, z. B. um die Muskelermüdung zu

untersuchen, eine Reihe aufeinanderfolgender Drucke ausführt, so ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dafs bald eine, bald eine andere Muskelgruppe in Thätigkeit tritt. Hierdurch bekommen die für den Augenblick unthätigen Muskeln Zeit zum Ausruhen, so dafs sie später wieder mit erneuter Kraft anfassen können, und folglich wird das Bild, das man von der fortschreitenden Ermüdung erhält, ein völlig falsches werden.« — Diese Betrachtung bewog Mosso, seinen Ergographen so zu konstruieren, dafs nur ein einzelner Finger arbeitet, weshalb man annehmen mufs, dafs gegenseitige Unterstützung verschiedener Muskelgruppen ausgeschlossen ist. Es scheint mir indes, dafs die genannte Gefahr nur

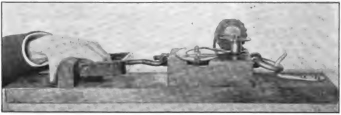


Fig. 3.

auf dem Papiere existiert; in der Praxis ist es ganz einfach unmöglich, systematisch einige Muskeln ruhen zu lassen, während andere arbeiten. Fafst man den Handgriff mit den vier Fingern an, und bestrebt man sich ehrlich und redlich, den möglichst grofsen Zug zu üben, so müssen alle Finger zugleich gebraucht werden. Mit zwei Fingern allein zu arbeiten, während die anderen ruhen, ist eine äufserst schwierige Sache, die sich überdies sogleich durch eine starke Verminderung des Zuges verrät. Folglich wird man hierdurch wohl kaum jemals getäuscht werden können; denn selbst wenn eine V-P von Anfang an die Methode systematisch benutzte, würde dies sich sogleich durch den höchst ungewöhnlichen Verlauf seiner Ergogramme kundgeben. — Eine Vorsichtsmafsregel ist jedoch zu beachten: der Daumen mufs auf der Leiste neben den vier anderen Fingern liegen. Hält man ihn nämlich hinter der

Google

Leiste, wie in Fig. 3 gezeigt, so kann man leicht durch kleine Drucke mit diesem Finger die anderen in ihrer Arbeit unterstützen, wenn sie ermüdet sind. Es ist also genau zu beachten, dafs der Daumen richtig liegt; geschieht dies aber, so ist wohl kaum Gefahr vorhanden, dafs die Ergogramme falsche Bilder von der Entwickelung der Ermüdung geben sollten.

Einen Übelstand hat der hier beschriebene Ergograph selbstverständlich mit allen Apparaten, bei denen Lufttransmission angewandt wird, gemein: die benutzten Gummimembranen erschlaffen im Laufe der Zeit, wodurch die auf den Kymographen gezeichneten Kurven sich verändern. Da es sich aber äufserst leicht kontrollieren läfst, ob einem bestimmten Drucke, z. B. 60 Kilo, stets dieselbe Exkursion des Schreibhebels entspricht, und da eine Abweichung hiervon sich leicht korrigieren läfst, hat dieser Mangel keine grofse Bedeutung. Jeder Mefsapparat mufs, wenn er unablässig benutzt wird, zuweilen aufs neue geprüft werden.

Die Bearbeitung des Materials. Bei allen im Folgenden zu besprechenden Versuchen wurden stets eine gröfsere oder kleinere Reihe maximaler Muskelanstrengungen in bestimmtem Takte ausgeführt. Da der Takt in den meisten Fällen von wesentlicher Bedeutung ist, war es notwendig, die Zeit auf der Walze aufzuzeichnen, um später kontrollieren zu können, ob der Takt auch gehalten wurde. Die Registrierung der Zeit auf der Walze des Kymographen geschah auf die im 1. Teile dieses Werkes S. 6—7 näher beschriebene Weise. Um Raum zu sparen, wurde der Kymograph in sehr langsame Bewegung gesetzt, ca. 1,7 mm pr. Sekunde. Bei so langsamer Umdrehung war die Geschwindigkeit freilich keineswegs konstant, dies hatte aber nicht viel zu sagen, da zugleich die Zeit eingezeichnet wurde. Von den unter solchen Verhältnissen aufgezeichneten Ergogrammen zeigt Pl. IX zwei genau in natürlicher Gröfse wiedergegebene Beispiele. Der Takt war verschieden, wie die Figur zeigt; A wurde bei 12 Zügen pr. Min., B bei 40 Zügen pr. Min. ausgeführt. Der Kontrolle wegen ist unter A die hinzugehörende Registrierung der Zeit angegeben; jede Marke entspricht 1,5 Sekunden, und an der verschiedenen Länge der Zeitmarken kann

Digitized by Google

man ohne Schwierigkeit sehen, dafs die Umdrehung der Walze keineswegs gleichmäfsig war. Übrigens sieht man am Ergogramme B eine Eigentümlichkeit, von der in A höchstens Andeutungen vorkommen, dafs nämlich die Niveaulinie sich anfangs stark senkt bis auf ein Minimum, wo sie stehen bleibt. Sobald die Arbeit aufhört, steigt die Niveaulinie schnell wieder bis zur ursprünglichen Höhe. Dies im Verein mit dem Umstand, dafs die Senkung um so entschiedener wird, je geschwinder die einzelnen Züge aufeinander folgen, zeigt mit genügender Deutlichkeit, dafs die Senkung von den Gummimembranen herrührt, die eine gewisse Zeit verlangen, um in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren. Dies wird durch langsam aufeinanderfolgende Züge erreicht; deshalb zeigt Pl. IX. A nur eine sehr geringe Senkung, während diese in B stark hervortritt.

Es wird nun vor allen Dingen notwendig, zu entscheiden, welchen Einflufs die besprochene Senkung der Niveaulinie des Ergogramms auf die Gröfse der einzelnen Exkursion hat. Mit einer für den praktischen Gebrauch genügenden Genauigkeit läfst dies sich folgendermafsen machen. Man führt in schnellem Takte eine Reihe gleichgrofser Züge am Ergographen aus; arbeitet man mit beiden Händen, so kann man ohne Schwierigkeit ziemlich grofse Züge (z. B. 60 Kilo) leisten, und sie fast genau auf derselben Gröfse halten. Da die Drucke gleichgrofs sind, sollten auch die am Kymographen aufgezeichneten Exkursionen gleichgrofs sein, und das müfsten sie notwendigerweise auch werden, wenn die Niveaulinie nicht sänke. Es zeigt sich indes, dafs sogar ein sehr bedeutendes Sinken keinen Einflufs auf die Gröfse der einzelnen Exkursionen hat. Durch zahlreiche, stark variierte Proben habe ich mich davon überzeugt: dafs einem Drucke von bestimmter Gröfse stets eine konstante Exkursion am Kymographen entspricht, ohne Rücksicht auf das Niveau, in welchem das Ergogramm sich gerade befindet. Hierdurch wird die Ausmessung des Ergogramms offenbar wesentlich erleichtert; man braucht nur die Gröfse der einzelnen Exkursionen zu messen, ihre Lage auf dem Papier ist gleichgültig.

Unser nächstes Werk wird nun die Bestimmung,

Digitized by Google

wie viele Millimeter Exkursion einer bestimmten Anzahl Kilogramm Druck entsprechen. Proportionalität der Gröſse des Drucks mit der der Exkursion läſst sich nicht erwarten, da das Abhängigkeitsverhältnis zwischen den beiden Gröſsen teils durch die Exzentrizität der Scheibe, teils durch die hierdurch verursachte Spannung der Gummimembranen bestimmt wird; es bleibt folglich nichts andres übrig, als rein empirisch die zusammengehörenden Werte für eine Reihe verschiedener Fälle zu finden und hieraus die dazwischenliegenden zu berechnen. Durch die Versuche erhielt ich folgende Reihe:

Druck	10	20	30	40	50	60	Kilogramm,
Exkursion	10	22	36	52	65	78	Millimeter,

welche Skala selbstverständlich nur für die gewählte Einstellung des Exzentriks, des Schreibhebels u. s. w. gültig ist. Es ist indes mit keiner besonderen Schwierigkeit verbunden, an gleichartig gebauten Apparaten dieselbe Einstellung zuwege zu bringen, so daſs man bei den verschiedenen Apparaten dasselbe Verhältnis zwischen Druck und Exkursion erhält. Bei mehreren der im Folgenden besprochenen Versuche wurden zwei Ergographen angewandt, und es gelang mir leicht, beide so einzustellen, daſs die oben angeführte Skala für alle beide galt. Dies ist gewiſs nicht ohne Bedeutung, da man alsdann für alle Ergogramme dieselbe Reduktionstabelle benutzen kann.

Hiermit sind wir jedoch noch nicht fertig, denn es kommt nicht darauf an, die Gröſse des Druckes, sondern die hierdurch verrichtete Arbeit zu bestimmen. Diese findet man indes mittels folgender Betrachtung. Da die Feder der Federwage sich dem Drucke proportional verlängert, wird der Weg, längs dessen der Widerstand überwunden wird, sich berechnen lassen, sobald der einem einzelnen, bestimmten Druck entsprechende Weg bekannt ist. Da nun, wie oben erwähnt, einem Druck von 60 Kilogramm eine Bewegung von 0,3 cm entspricht, hat man also, wenn der Druck d und der Weg v genannt werden: $v:d = 0{,}3:60$ oder $v = 0{,}005\,d$. Ferner sieht man leicht, daſs die Arbeit A, die verrichtet wird, wenn man am Ergographen den

Digitized by Google

Druck d hervorbringt, $A = v \cdot d/2$ sein wird. Setzt man hier den durch d ausgedrückten Wert von v ein, so erhält man folglich: $A = 0{,}0025\, d^2$, indem als Einheit der Arbeit das Centimeter-Kilo gebraucht wird, welche Einheit hier der 100mal gröfseren Einheit, dem Meter-Kilogramm, vorzuziehen ist, weil man es hierdurch vermeidet, fortwährend Brüche zu schreiben. Aus dem gefundenen Ausdruck für die Arbeit folgt $d = 20 \cdot \sqrt{A}$. Legt man hier A successiv eine Reihe verschiedener Werte bei, so kann man aus der Gleichung die Drucke berechnen, die ausgeübt sein müssen, wenn gerade die betreffenden Arbeitsmengen geleistet sein sollen. Und aus der oben angeführten Skala für das Verhältnis zwischen den Drucken und der Gröfse der graphischen Exkursionen kann man darauf ferner die Exkursion berechnen, die jeder angegebenen Arbeitsmenge entspricht. Auf diese Weise kann man sich, wenn auch mit einigem Rechnen, eine Tabelle anfertigen, aus der man sieht, wie grofse Arbeit einer bestimmten Exkursion in den graphischen Aufzeichnungen entspricht. Diese Tabelle ist Pl. IX in der Form eines kleinen Mafsstabs wiedergegeben. Man kann den Mafsstab auf Glas ätzen oder auf ein Gelatineblättchen einritzen[1]; in dieser Form ist er leicht zu gebrauchen, da man nur nötig hat, ihn über das Ergogramm zu schieben, wo die Gröfse der einzelnen Exkursionen dann direkt in Centimeter-Kilo abzulesen ist. Verfährt man auf diese Weise, so wird die Ausmessung sogar eines gröfseren Versuchsmaterials keine unüberwindlichen Schwierigkeiten darbieten.

Da ich natürlich alle im Folgenden näher zu untersuchenden Ergogramme ausmessen mufste, wird es nicht allein nicht notwendig, sondern auch nicht zweckmäfsig sein, diese in der Form der Originalaufzeich-

[1] Ein Gelatineblättchen ist jedoch nicht geeignet, da es hygroskopisch ist und sich während des Gebrauches zwischen den Fingern krümmt. Ich stelle dergleichen spezielle Mafsstäbe auf die Weise her, dafs ich eine wagerecht gestellte Glasplatte mit einer 6prozentigen Gelatineauflösung übergiefse. Nachdem letztere getrocknet ist, graviere ich den Mafsstab in die Gelatine ein und fülle die Linien mit Zinnober. Die roten Linien sind auf den schwarzen Kurventafeln deutlich zu sehen, und der Mafsstab wird nicht von der Feuchtigkeit der Luft beeinflufst und erhält sich jahrelang.

nungen wiederzugeben. Dergleichen Wiedergaben würden dem Leser, der sich veranlafst finden möchte, sie zu irgend einem Zwecke zu benutzen, die Arbeit nur erschweren. Ich zog es deshalb vor, die Ergogramme in schematischer Form zu geben, indem jeder einzelne Zug durch eine Linie abgebildet ist, deren Länge in Centimeter die Gröfse der verrichteten, in Centimeter-Kilo gemessenen Arbeit bezeichnet. Alle Pl. X u. f. abgebildeten Ergogramme sind auf diese Weise dargestellt. Hierdurch wird erstens der Gebrauch erleichtert, indem man mittels eines in Millimeter geteilten Mafsstabes im stande ist, die Gröfse der einzelnen Arbeiten in Zehnteln der Arbeitseinheit abzulesen. Ferner erhält man durch diese Wiedergabe ein weit richtigeres Bild von den Variationen der Arbeit, als die originalen Kurven zu geben vermögen. Denn, wie oben nachgewiesen, stellen letztere nicht die ausgeführten Arbeitsmengen, sondern nur die geübten Drucke dar, und diese Drucke sind nicht einmal durch der Gröfse der Drucke proportionale Linien angegeben. Die hier gewählte schematische Darstellung scheint mir deshalb einen grofsen Vorzug zu haben. Sie hat nur den einen Übelstand, dafs der Takt, in welchem die einzelnen Züge ausgeführt wurden, nicht direkt zu ersehen ist. Dies wäre zu erreichen gewesen, wenn man z. B. den Zwischenraum zwischen den einzelnen Linien dem Zeitraum zwischen den successiven Zügen proportional gemacht hätte. Hierdurch würden viele Ergogramme aber ganz übermäfsige Ausdehnung angenommen haben, wodurch der Überblick verloren gegangen wäre. Ich beschränkte mich deshalb darauf, den Takt durch Angabe der pr. Min. ausgeführten Züge anzuführen. Wo sich keine Angabe findet, war der Takt immer 40 Züge pr. Min.

Die nähere statistische Bearbeitung des Materials läfst sich hier nicht im allgemeinen besprechen, da sie sich natürlich nach den zu untersuchenden Verhältnissen richtet. Sie wird im Folgenden also der Gegenstand einer speziellen Behandlung werden.

Digitized by Google

DIE MUSKELARBEIT.

Die Abhängigkeit der Muskelarbeit vom Takte. Aus dem täglichen Leben ist es wohlbekannt, dafs es dem Organismus keineswegs gleichgültig ist, wie lange Zeit gebraucht wird, um eine gegebene körperliche Arbeit zu verrichten. Eine Arbeit, deren Leistung während einer Minute durchaus unerreichbar wäre, kann im Laufe einer Stunde sehr leicht zu verrichten sein, indem sie in eine Reihe Partialarbeiten mit dazwischenliegenden Ruhezeiten eingeteilt wird. Physiologisch betrachtet läfst die Arbeit sich nicht einfach durch das Produkt des zurückgelegten Weges und des Widerstands messen, denn sie ist auch eine Funktion der Zeit. Läfst man daher einen Muskel oder eine Muskelgruppe in regelmäfsigem Takt bis zu völliger Ermüdung arbeiten, so wird nicht in allen Fällen dieselbe Arbeit geliefert werden: je schneller der Takt ist, je kürzere Zeit zur Erholung zwischen den einzelnen Partialarbeiten gewährt wird, um so geringer mufs die totale Arbeitsleistung werden. Dies wird denn auch durch die myographischen und ergographischen Werke von Kronecker[1], Funke[2] und Maggiora[3] völlig bestätigt. Aus den von diesen Forschern angestellten genauen Messungen geht zugleich hervor, dafs es sich hier nicht um reine Kleinigkeiten handelt. Wird der Takt z. B. von 10 bis auf 4 Sekunden beschleunigt, also 5·2mal so schnell gemacht, so kann die Arbeitsleistung in ungünstigen Fällen von 34,6 bis 1,1 Kilogrammmeter in der Stunde, also bis auf 1/32 sinken. Indes ist das Verhältnis nicht immer so ungünstig, da der Einflufs des Taktes mit der Gröfse der vom Muskel zu hebenden Last variiert; für jede gegebene Belastung wird es

---

[1] Über die Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln. Berichte der sächsischen Gesell. d. Wissenschaften. 1871.

[2] Über den Einflufs der Ermüdung auf den zeitlichen Verlauf der Muskelthätigkeit. Pflügers Archiv für Physiologie. Bd. 8.

[3] Les lois de la fatigue étudiées dans les muscles de l'homme. Arch. ital. de Biol. Bd. 13. Archiv für Anat. u. Physiol. Phys. Abt. 1890.

einen bestimmten Takt geben, nach welchem das Maximum der Arbeit verrichtet werden kann.

Wie wertvoll diese Untersuchungen nun auch sein mögen, ist hierdurch die Frage nach der Abhängigkeit der Arbeit von dem Takte doch nicht gänzlich aufgeklärt. Alle genannten Messungen wurden nämlich bei konstanter Belastung des Muskels angestellt. Hieraus folgt, dafs man nur über die Variationen der totalen Arbeitsleistung Aufschlüsse erhalten kann, während die Methode uns nichts darüber lehrt, in welchem Verhältnisse die successiven Partialarbeiten abnehmen. Denn diese Partialarbeiten, die einzelnen Züge, sind anfänglich alle gleichgrofs, weil jede einzelne derselben kleiner ist als das Maximum von Arbeit, das zu leisten der Muskel im stande ist. Erst wenn der Muskel bis zu einem gewissen Grade ermüdet ist, beginnen die einzelnen Züge an Stärke abzunehmen. Wünscht man also Aufschlüsse über die Abnahme der einzelnen Partialarbeiten, so mufs der Muskel bei jedem einzelnen Zuge das Maximum der Arbeit liefern, was nur durch einen Feder-Ergographen zu erreichen ist. Da derartige Untersuchungen bis jetzt nicht vorliegen, habe ich diese Frage zu besonderer Behandlung vornehmen müssen.

Die Versuchsanordnung, in allem Wesentlichen übrigens dieselbe, die bei den meisten der folgenden Versuche angewandt wurde, war nicht sehr kompliziert. Der Takt wurde mittels eines Metronoms angegeben, das auf 80 bis 8 Taktschläge pr. Minute eingestellt werden konnte. Wurde ausnahmsweise ein noch langsamerer Takt (6 pr. Min.) angewandt, so wurde derselbe vom Experimentator nach einer gewöhnlichen Taschenuhr angegeben. Der Experimentator hatte sonst weiter nichts zu thun, als den Kymographen in Gang zu setzen, wenn die V-P sich zum Anfangen bereit erklärte. Und für die V-P handelte es sich nur darum, den Takt innezuhalten und bei jedem einzelnen Zuge die möglichst grofse Muskelanspannung zu leisten. Die auf den Kymographen aufgezeichnete Kurve konnte sie nicht sehen; hierdurch war es ausgeschlossen, dafs sie vorsätzlich oder unvorsätzlich eine gewisse Regelmäfsigkeit der successiven Arbeiten hervorrief. Dagegen konnte

Digitized by Google

sie die eingeteilte Scheibe am Ergographen sehen, deren Maximumzeiger den gröfsten, von ihr geleisteten Zug markierte. Diese Ordnung erwies sich als ganz praktisch, weil man nun ein bestimmtes Ziel zu erstreben hatte. Der Maximumszug erschien als ein »Rekord«, den zu »schlagen« man immer bemüht sein mufste. Da die sowohl langweilige als anstrengende Muskelarbeit sich nicht wohl als ein Spiel betrachten liefs, schadete es jedenfalls nichts, dafs sie zum Sport gemacht wurde. Wenigstens wurde hierdurch erreicht, dafs die V-P anfangs ihre Kräfte nicht schonte, um desto länger aushalten zu können, wozu namentlich die eine meiner Versuchspersonen stark geneigt war.

Eine wesentliche Schwierigkeit bei der Bestimmung des Einflusses des Taktes besteht darin, dafs sich leicht andre, störende Faktoren gleichzeitig geltend machen. Unter diesen ist die Ermüdung wohl die hervortretendste. Wollte man dieselbe V-P mit kurzen Zwischenräumen eine Reihe von Ergogrammen in verschiedenem Takte ausführen lassen, so würden die Kurven ein durchaus falsches Bild von dem Einflusse des Taktes geben. Denn die arbeitenden Muskeln würden immer mehr ermatten, so dafs nicht nur der Takt, sondern auch die vorhandene Ermüdung dazu beitragen würde, den verschiedenen Ergogrammen verschiedene Form zu geben. Soll der Einflufs des Taktes rein hervortreten, so müssen die zu vergleichenden Ergogramme in demselben Stadium der Ermüdung ausgeführt sein. Dies kann man aber nur dann mit Sicherheit sagen, wenn vorher überhaupt keine Arbeit verrichtet worden ist, so dafs die Muskeln nach vollständiger Erholung ganz frisch sind. Um dies zu erreichen, wurde gewöhnlich nur ein Versuch des Tages gemacht; wenn an ganz einzelnen Tagen zwei Versuche angestellt wurden, trat zwischen den beiden Versuchen stets eine wenigstens zweistündige Pause mit völliger Ruhe ein. Ferner wurde bei fast allen meinen ergographischen Versuchen nur die linke Hand gebraucht, weil diese bei den Arbeiten des täglichen Lebens lange nicht so sehr in Aktivität ist wie die rechte Hand; hierdurch sicherte ich mir also, dafs die Hand sich während der Erholungspausen wirklich ausruhte.

Durch die genannte Ordnung der Versuche entsteht jedoch ein neuer Übelstand. Da eine längere Versuchsreihe über den Einfluſs des verschiedenen Taktes auf die Arbeit notwendigerweise über eine gröſsere Anzahl von Tagen verteilt werden muſs, so wird daher die immer mehr wachsende Übung sich geltend machen. Dieser Umstand hat glücklicherweise aber doch nicht viel zu bedeuten. Allerdings wächst die Gröſse der Arbeit, die unter gegebenen Verhältnissen geleistet werden kann, fortwährend mit der Übung, den gröſsten und eingreifendsten Einfluſs hat die Übung jedoch während der ersten Tage. Unterläſst man also nur, die während der ersten Tage ausgeführten Versuchsreihen mitzunehmen, so hat es nicht viel zu sagen, zu welchem späteren Zeitpunkte der einzelne Versuch angestellt wurde. Überdies kann man den Einfluſs der Übung bis zu einem gewissen Grade eliminieren, indem man die früher ausgeführten Versuche auf einer späteren Übungsstufe wiederholt, um zu sehen, ob in den gewonnenen Resultaten wesentliche Abweichung zum Vorschein kommt. Werden diese verschiedenen Vorsichtsmaſsregeln beachtet, so kann man darauf rechnen, daſs man einen genauen Ausdruck für den Einfluſs des Taktes auf die Arbeit zu erhalten vermag. Wir schreiten nun zur näheren Untersuchung der Resultate der angestellten Versuche.

Pl. X—XII sind eine Reihe Ergogramme wiedergegeben, alle von derselben V-P. A. L., ausgeführt; sie unterscheiden sich nur durch den verschiedenen Takt, in welchem die einzelnen Züge aufeinander folgten. Da, wie oben berührt, die gröſsere oder geringere Übung aber nicht ganz ohne Bedeutung ist, gebe ich hier zugleich das Datum jedes einzelnen Ergogramms an[1].

Pl. X, A. d. 7/2. 6 pr. Min. *Pl. X, B.* d. 8/2. 80 pr. Min. *Pl. X, C.* d. 7/3. 10 pr. Min. *Pl. XI, A.* d. 17/3. 20 pr. Min. *Pl. XI, B.* d. 21/2. 40 pr. Min. *Pl. XII, A.* d. 26/2. 30 pr. Min. *Pl. XII, B.* d. 7/2. 60 pr. Min. Die 7 genannten Ergogramme bieten, wie man sieht, eine ziemlich gleichmäſsige Variation des Taktes dar, von

[1] Alle meine ergographischen Messungen wurden im Laufe des Jahres 1900 ausgeführt.

Digitized by Google

6 bis 80 pr. Min. Bei näherer Betrachtung zeigt es sich, dafs sie in zwei Gruppen zerfallen, die sich durch die Form der Ergogramme voneinander unterscheiden. In der einen Gruppe konvergieren die Ergogramme gegen die Abscisse, während sie in der anderen Gruppe nahe daran sind, der Abscisse parallel zu verlaufen. Dafs das Ergogramm gegen die Abscisse konvergiert, will offenbar weiter nichts heifsen, als dafs die successiven Partialarbeiten immer kleiner werden, so dafs die Arbeit zuletzt ganz ins Stocken gerät. Dies zeigt sich denn auch in der Praxis, bei der Leistung der Arbeit; die V-P hört auf, weil sie überhaupt nicht im stande ist, fortzusetzen. Ganz anders verhält es sich in der anderen Gruppe, wo das Ergogramm fast parallel zur Abscissenlinie verläuft. Hier nähern die Partialarbeiten sich also einer konstanten Gröfse, was mit anderen Worten heifsen will, dafs die Arbeit, dem Anschein nach, bis ins unbegrenzte fortgesetzt werden kann. Buchstäblich darf man dies natürlich nicht nehmen, innerhalb einer passenden Zeit wird die V-P aber im stande sein, fortzufahren, ohne dafs die Partialarbeiten bedeutende Verminderung zeigen. Bei allen diesen Ergogrammen geschah der Abschlufs nun auch nicht damit, dafs die V-P die »Arbeit einstellte«; die Initiative wurde in allen Fällen vom Experimentator genommen, der die verrichtete Arbeit für genügend erklärte. Wäre es der V-P gestattet worden, fortzusetzen, so wären die Ergogramme ohne Zweifel vielmal länger geworden. Den wesentlichsten Unterschied zwischen den beiden Gruppen können wir dadurch ausdrücken, dafs wir letztere die »unbegrenzten« Ergogramme nennen als Gegenteil der ersteren Gruppe, der »begrenzten« Ergogramme.

Aus Pl. X—XII geht nun ferner hervor, dafs die gröfsere oder geringere Geschwindigkeit des Taktes entscheidet, ob ein Ergogramm begrenzt oder unbegrenzt wird. Fangen wir mit dem langsamsten Takt, 6 pr. Min., an, so zeigt Pl. X, A, dafs die Ordinaten fast gar nicht an Gröfse abnehmen, oder mit anderen Worten: die successiven Partialarbeiten sind annähernd gleichgrofs. Beim Takte 10 pr. Min. findet sich aber schon eine deutliche, wenn auch langsame Verminderung der Ordinaten (Pl. X, C), und bei 20 pr. Min. ist die Senkung

Digitized by Google

im Anfang des Ergogramms stark hervortretend (Pl. XI, A). Der absoluten Höhe der Ordinaten, namentlich im Anfange der Ergogramme, darf kein Gewicht beigelegt werden, da dieselbe, wie wir später sehen werden, vorzüglich von der Übung abhängig ist; da Pl. XI, A 6 Wochen später als die Kurven Pl. X ausgeführt wurde, genügt dieser Umstand, um zu erklären, weshalb ersteres Ergogramm mit viel gröſseren Ordinaten anfängt als letztere. Die absolute Höhe der Ordinaten kann jedoch für die Form der Ergogramme keine wesentliche Bedeutung haben, und wir können deshalb davon absehen, daſs die Kurven auf verschiedenen Übungsstufen ausgeführt wurden. Gehen wir nun zu einem schnelleren Takt, so sehen wir, daſs 30 pr. Min. (Pl. XII, A) noch ein unbegrenztes Ergogramm geben, 40 pr. Min. (Pl. XI, B) dagegen das erste begrenzte; solche werden nun auch alle folgenden, mit 60 und 80 Zügen pr. Min. ausgeführten.

Einen jähen Übergang kann es der Natur der Sache zufolge zwischen den begrenzten und den unbegrenzten Ergogrammen nicht geben. Bei einem gewissen Takte, der für die hier untersuchte V-P zwischen 30 und 40 pr. Min. liegen muſs, wird man freilich finden, daſs kleine, zufällige Umstände entscheidenden Einfluſs darauf bekommen, ob das Ergogramm die eine oder die andre Form erhält. Bei diesem Takt wird ein Ergogramm z. B. im Anfange der Versuche begrenzt sein, während es nach einiger Übung in ein unbegrenztes übergeht. Von einem solchen Übergang aus einer in die andre Form habe ich für diese V-P kein Beispiel, man braucht übrigens aber nur den Einfluſs der Übung auf ein begrenztes Ergogramm zu betrachten, um sich zu überzeugen, daſs dessen Übergang in die unbegrenzte Form nicht ganz undenkbar ist. Vergleicht man z. B. Pl. XI, B., das d. $^{21}{}_{3}$ ausgeführt wurde, mit Pl. XIII, C, das d. $^{31}{}_{4}$, ebenfalls mit 40 pr. Min. genommen wurde, so sieht man, wie das Ergogramm nicht nur an Höhe, sondern auch an Ausdehnung so stark gewachsen ist, daſs nicht viel dazu gehört, es unbegrenzt zu machen. Die kleine Strecke der Kurve, die Pl. XIII, C unten rechts über der Hauptkurve abgesetzt ist, gibt die unmittelbare Fortsetzung der letzteren; wird diese Strecke

Digitized by Google

mitgerechnet, so sieht man, dafs die Kurve stark tendiert, zur Abscissenachse parallel zu werden. Für eine gegebene V-P ist der Takt, bei welchem der Übergang aus dem begrenzten in das unbegrenzte Ergogramm stattfindet, augenscheinlich also keine konstante Gröfse; er verändert sich durch Übung, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen. Wir werden uns auf dieses Verhältnis näher einlassen, wenn wir später die Bedeutung der Übung speziell untersuchen.

Als eine interessante Thatsache, die mit dem Gesagten durchaus übereinstimmt, ist anzuführen, dafs nicht einmal beide Hände derselben V-P sich auf gleiche Weise zu verhalten brauchen. Jeder, der nicht linkisch ist, wird gewöhnlich seine rechte Hand zu bedeutend stärkerer Entwickelung gebracht haben als die linke. Obschon nun bei meinen ergographischen Versuchen die rechte Hand fast niemals gebraucht wurde, weshalb sie also für derartige Arbeit auch nicht besonders trainiert war, zeigte es sich dennoch, dafs sie ein unbegrenztes Ergogramm bei einem Takte gab, bei dem die linke Hand trotz aller Übung nur ein begrenztes lieferte. Dies geht aus *Pl. XIV, A* hervor. Dieses Ergogramm wurde d. $^{21}/_{4}$ von A. L. mit der rechten Hand ausgeführt, also an demselben Tage wie Pl. XIII, C, und der Takt ist derselbe für beide Kurven, 40 pr. Min. Das mit der rechten Hand ausgeführte Ergogramm ist augenscheinlich unbegrenzt; während einer längeren Strecke — die kleine Strecke oben rechts ist die unmittelbare Fortsetzung der Hauptkurve — haben die Partialarbeiten annähernd konstante Gröfse, und die Arbeit hätte thatsächlich noch lange fortgesetzt werden können. Hieraus folgt offenbar, dafs es auch in hohem Grade individuell verschieden werden mufs, bei welchem Takte der Übergang aus den begrenzten in die unbegrenzten Ergogramme stattfindet. So gab eine einzelne meiner Versuchspersonen, Dr. B., konstant unbegrenzte Ergogramme mit der linken Hand beim Takte 40 pr. Min.; erst bei 60 pr. Min. stockte die Arbeit von selbst. Zur näheren Erhellung der Sache sind drei Ergogramme wiedergegeben:

Pl. XIV, B, d. $^{26}/_{2}$, 60 pr. Min. *Pl. XV, A*, d. $^{21}/_{2}$, 40 pr. Min.
Pl. XV, B, d. $^{17}/_{8}$, 20 pr. Min.

Digitized by Google

Da diese Kurven, wie aus der Datierung hervorgeht, auch etwas verschiedene Übungsstufen repräsentieren, kann den absoluten Höhen der Ordinaten kein Gewicht beigelegt werden. Die Kurve XIV, B (60 pr. Min.) befindet sich hier gerade am Übergange zwischen den begrenzten und den unbegrenzten; es gelang dieser V-P zuletzt wirklich, als ihre Einübung den Gipfel erreicht hatte, sogar bei diesem schnellen Takte die Arbeit unbegrenzt zu erhalten. Während des Übergangs zeigten sich häufig höchst eigentümliche Schwankungen der Kurven, und diese haben zweifelsohne so groſses theoretisches Interesse, daſs sie ein eingehenderes, spezielles Studium verdienen. Da es uns hier jedoch zu weit führen würde, wollten wir dergleichen Details verfolgen, beschränke ich mich darauf, die Aufmerksamkeit auf diese Verhältnisse zu lenken.

Die Resultate unserer vorhergehenden Untersuchungen lassen sich nun in folgenden Sätzen zusammenfassen:

Bei langsamem Takte, also bei groſsen Zeiträumen zwischen den einzelnen Partialarbeiten, vermindert sich die Gröſse der letzteren verhältnismäſsig wenig und nähert sie sich einem konstanten Werte, der um so gröſser ist, je langsamer der Takt wird; wenn die Gröſse der successiven Partialarbeiten auf diese Weise konstant wird, sind die Ergogramme unbegrenzt. Bei hinlänglich schnellem Takte nähern die Partialarbeiten sich dagegen an Null, und folglich werden die Ergogramme begrenzt. Der Takt, bei welchem der Übergang zwischen den beiden Formen stattfindet, ist individuell verschieden, kann sogar für die rechte und die linke Hand desselben Individuums verschieden sein, und ist übrigens nur innerhalb eines kürzeren Zeitraums konstant, da er sich bei fortschreitender Übung verändert.

Über die Ursache von dem Einflusse des Taktes auf die Form der Ergogramme scheint wohl kein Zweifel herrschen zu können. Alle vorliegenden Umstände deuten darauf hin, daſs der mehr oder weniger voll-

Digitized by Google

ständige Stoffwechsel die durch den Takt hervorgebrachte Verschiedenheit der Form der Ergogramme bedingt. Genau auseinanderzulegen, was im arbeitenden Muskel vorgeht, vermag man allerdings noch nicht, das Wenige aber, das wir wissen, scheint zu genügen, um die oben nachgewiesenen Verhältnisse zu erklären. Da mechanische Arbeit, Muskelarbeit, nur mit Aufwand andrer Energieformen zu erhalten ist, mufs also im arbeitenden Muskel fortwährender Stoffverbrauch stattfinden. Der Stoffwechsel hat nun die Aufgabe, teils die verbrauchten Stoffe zu entfernen, teils neue zuzuführen, durch deren Dekomposition chemische Energie sich in mechanische umsetzen läfst. Je vollständiger dies stattfindet, um so mehr werden die successiven Arbeitsleistungen des Muskels sich unverändert erhalten. Es ist ferner einleuchtend, dafs je schneller der Takt ist, in welchem gearbeitet wird, der Verbrauch während gegebener Zeit um so gröfser wird, und der Stoffwechsel um so weniger im stande ist, den Verbrauch zu ersetzen. Es ist daher leicht verständlich, dafs die Höhe der Partialarbeiten um so geschwinder abnehmen mufs, je schneller der Takt ist, was mit den Ergebnissen der Versuche auch ganz übereinstimmt. Näher können wir uns hier nicht auf die Sache einlassen; später, wenn wir für die Gröfse der Arbeit einen mathematischen Ausdruck gefunden haben werden, wird der gesetzmäfsige Einflufs des Taktes, mithin des Stoffwechsels, auf die Arbeitsleistung eingehender nachgewiesen werden.

Es gibt indes noch einen Punkt, den wir uns schon hier verständlich zu machen suchen müssen, nämlich die Ursache von der Entstehung der begrenzten Ergogramme. Scheinbar widerstreitet die Existenz dieser Kurven dem geradezu, was oben über den Einflufs des Stoffwechsels auf die Muskelarbeit gesagt wurde. Denn wie schnell auch gearbeitet wird, so mufs der Stoffwechsel doch immer einigen Ersatz des verbrauchten Stoffes bringen, und die Muskelkraft wird also nicht völlig erschöpft. Selbst wenn die Partialarbeiten bei schnellem Takte schliefslich sehr klein werden, gibt es anscheinend doch keinen Grund, weshalb sie Null werden sollten, so dafs die Arbeit völlig ins Stocken ge-

riete, was doch thatsächlich der Fall ist. Nur als Resultat des Verhältnisses zwischen Verbrauch und Zufuhr scheinen die begrenzten Ergogramme sich also nicht erklären zu lassen. Ohne Zweifel müssen noch andre Ursachen mitwirken, was die Erfahrung auch bestätigt. Wenn ein begrenztes Ergogramm entsteht, wird es stets von einer psychischen Erscheinung begleitet, die bei den unbegrenzten, wenigstens nach meiner Erfahrung, nie vorkommt, nämlich von einer schmerzhaften Empfindung der Ermüdung. Und durch Selbstbeobachtung überzeugt man sich leicht, dafs dieser Schmerz auf die Anstrengung direkt hemmend wirkt; während des anwachsenden Schmerzes vermag man den Muskel nicht so stark wie vorher anzuspannen. Vieles spricht nun wirklich dafür, dafs der subjektiv wahrgenommenen Verminderung der Anspannung eine Hemmung der zentralen Innervation entspricht. Kraepelin kam schon früher, auf Grundlage seiner ergographischen Untersuchungen, zu dem Ergebnisse, dafs das Aufhören der Muskelarbeit bei wachsender Ermüdung sich ohne die Annahme einer solchen zentralen Hemmung kaum erklären lasse[1]. Bei der vollständigen mathematischen Behandlung des Problems, die im Folgenden durchgeführt werden wird, wird es sich zeigen, wie das begrenzte Ergogramm sich dadurch von dem unbegrenzten unterscheidet, dafs von einem gewissen Zeitpunkte an eine Kraft wirkt, die jede folgende Partialarbeit um eine konstante Gröfse erniedrigt. Und dieser Zeitpunkt trifft gerade mit dem Moment zusammen, da die Selbstbeobachtung das Auftauchen der schmerzhaften Ermüdung konstatiert. Endlich erweist es sich auch, dafs jeder andere körperliche Schmerz eine entsprechende Verminderung der Muskelarbeit zur Folge hat. Alle diese Thatsachen, die wir später ausführlich erörtern werden, lassen sich kaum anders deuten als durch die Annahme, dafs jeder vorherrschende unlustbetonte Bewufstseinszustand die zentrale Innervation hemmt. Diese in gewissen Fällen eintretende Hemmung bewirkt,

[1] Hoch u. Kraepelin: »Über die Wirkung der Theebestandteile auf geistige und körperliche Arbeit«, in Kraepelin: Psychologische Arbeiten. I. S. 477.

Digitized by Google

dafs die Ergogramme begrenzt werden. — So wie ich diese Erklärung hier darstellen konnte, beruht sie natürlich nur auf einer Reihe von Postulaten; allmählich, wie unsere Untersuchungen fortschreiten, werden erst die Beweise für deren Richtigkeit geliefert werden. Ich glaubte, sie aber schon hier andeuten zu müssen, um zu zeigen, dafs die Verschiedenheit der begrenzten Ergogramme von den unbegrenzten uns doch nicht ganz unverständlich ist.

Bevor wir nun zur mathematischen Behandlung der ergographischen Untersuchungen schreiten, werde ich in Kürze ein einzelnes Experiment besprechen, mittels dessen die Bedeutung des Stoffwechsels für die Muskelarbeit sich leicht nachweisen läfst. Der Versuch ist wohlbekannt und sowohl bei den myographischen als den ergographischen Untersuchungen in grofsem Umfang variiert worden. Es ist deshalb nicht nötig, uns näher auf denselben einzulassen, da seine Resultate uns aber bei der mathematischen Behandlung des Problems zu statten kommen werden, verdient er kurze Erwähnung.

Wenn der Stoffwechsel in den arbeitenden Muskeln für die Gröfse der geleisteten Arbeit Bedeutung hat, so mufs man im stande sein, durch Hemmung oder Förderung des Blutumlaufs die Ergogramme innerhalb gewisser Grenzen verkürzen oder verlängern zu können. Eine Hemmung des Blutumlaufs ist jedenfalls nicht schwer zu bewerkstelligen. Legt man ein breites, ein wenig elastisches Band straff um den Arm dicht oberhalb des Ellbogens, so wird der Blutzuflufs nach dem Unterarm und der Hand zwar nicht völlig gehemmt, aber doch stark vermindert werden. Hiervon mufs die Folge sein, dafs die Ergogramme bedeutend verkürzt werden. Löst man hierauf das Band in dem Augenblicke, da die Arbeit stockt, so mufs es sich zeigen, dafs bei dem vermehrten Blutzuflusse die Arbeit sogleich wieder beginnen kann. Die Erfahrung bestätigt vollständig die Richtigkeit hiervon, wie aus folgenden drei Kurven hervorgeht:

Pl. XII, C. d. $^{8}/_{9}$. A. L. rechte Hand. *Pl. XIII, A.* d. $^{12}/_{2}$. A. L. linke Hand. *Pl. XIII, B.* d. $^{13}/_{2}$. Fnn. linke Hand.

Digitized by Google

Die drei Versuche wurden genau auf die beschriebene Weise angestellt. Sobald die V-P nicht mehr mit dem umbundenen Arme arbeiten konnte, wurde vom Experimentator das Band gelöst, worauf die V-P sofort wieder zu arbeiten anfing. Mehr als 3—4 Sekunden verliefen wohl kaum zwischen den beiden Teilen der Kurven. Nach Lösung des Bandes wurde die Arbeit nur so lange fortgesetzt, bis der Einfluſs des lebhafteren Blutumlaufes unzweifelhaft war. Der Takt, in welchem diese drei Kurven ausgeführt wurden, war 60 pr. Min.; wenn ich ihn auf den Planen als ∞ pr. Min. bezeichnet habe, ist dies natürlich eine rein nominelle Gröſse, wodurch ich nur auszudrücken beabsichtigte, daſs die Wirkung im Verhältnisse zum Stoffwechsel fast dieselbe war, als wenn die Arbeit mit unendlicher Geschwindigkeit ausgeführt worden wäre. Die drei Ergogramme zeigen in der That auch, wie zu erwarten stand, daſs die Partialarbeiten schneller auf Null hin abnehmen, als bei irgend einem anderen Takte.

Wir wollen jetzt einen mathematischen Ausdruck für die Gröſse der verrichteten Arbeit suchen. Da die Ergogramme, wie man sieht, keine regelmäſsigen geometrischen Kurven sind, sondern zahlreiche Schwankungen, die Wirkungen mehrerer unbekannten, störenden Faktoren, darbieten, müssen diese Unregelmäſsigkeiten natürlich eliminiert werden. Dies ist nun auch mit keiner gröſseren Schwierigkeit verbunden; statt mit der Gröſse der einzelnen Partialarbeiten zu rechnen, braucht man nur mit dem mittleren Werte einer hinlänglich groſsen Anzahl derselben zu rechnen. Die Aufgabe selbst läſst sich auf verschiedene Weise angreifen; ich versuchte auf verschiedenen Wegen, die wahrscheinlich sämtlich ans erwünschte Ziel führen können, vorwärts zu kommen. Am leichtesten scheint es mir indes, das Problem folgendermaſsen zu formulieren: Wenn die Arbeit mit konstanter Differenz wächst, wie wächst dann die Anzahl der Partialarbeiten? Um zur Beantwortung dieser Frage zu kommen, braucht man nur die Gröſsen einer Reihe successiver Partialarbeiten zu addieren, bis die Summe einen konstanten, willkürlich gewählten Wert erhält, worauf man einen mathematischen Ausdruck für dasjenige Verhältnis

Digitized by Google

findet, in welchem die entsprechenden Anzahlen von Partialarbeiten wachsen.

Um diese Aufgabe lösen zu können, müssen wir zuvörderst für den konstanten Zuwachs der Arbeit eine passende Gröfse wählen. Diese darf nicht zu klein gewählt werden, da wir dann die zufälligen Unregelmäfsigkeiten nicht eliminiert bekommen; wird sie aber zu grofs genommen, so erhalten wir zu wenig Zahlen zum Operieren. Da die Gröfse der einzelnen Partialarbeiten äufserst selten, und nur im Anfang der Ergogramme, 5 Centimeter-Kilogramm übersteigt, und da man, wenn die Unregelmäfsigkeiten ausgeglichen werden sollen, wohl kaum weniger als 4 Partialarbeiten addieren darf, wählte ich diese Gröfse $4 \cdot 5 = 20$ cm-K. zur konstanten Arbeitsdifferenz. Ich addiere also die Gröfse so vieler successiven Partialarbeiten, dafs die Summe 20 cm-K. möglichst nahe kommt, und notiere die entsprechende Anzahl Partialarbeiten. Selbstverständlich ist es unmöglich, jede einzelne Summe genau 20 cm-K. grofs zu machen, das hat aber auch nicht viel zu bedeuten, erstens, weil unseren Ergogrammen zufällige Fehler anhaften, und ferner, weil die erwähnte Berechnung nur dazu dienen soll, uns einen Überblick über das wahrscheinliche Verhältnis zwischen der Gröfse der Arbeit und der Anzahl der Partialarbeiten zu verschaffen. Bei der Ausführung der genannten Additionen ist es offenbar ziemlich gleichgültig, von welchem Ende des Ergogramms man beginnt; man kann ebenso gut mit den gröfsten als mit den kleinsten Partialarbeiten anfangen. Ich zog indes letzteres vor, und zwar aus folgendem Grunde. Der Natur der Sache zufolge ist es ein reiner Zufall, ob die ganze Summe der in einem Ergogramm aufgezeichneten Arbeit gerade ein Multiplum von 20 cm-K. ist. Es wird also, wenn man das Ergogramm in Summen von dieser Gröfse einteilt, gewöhnlich ein Rest übrigbleiben, der bei der Berechnung nicht mitgenommen wird. Fängt man nun die Addition mit den gröfsten Partialarbeiten an, so kann eine sehr grofse Anzahl derselben übrigbleiben, die nicht die Summe von 20 cm-K. ergeben. Beginnt man dagegen von unten, mit den kleinsten Partialarbeiten, so können höchstens 3 oder 4 der gröfseren übrigbleiben, deren

Digitized by Google

Summe nicht 20 cm-K. erreicht. Es ist deshalb unbedingt am zweckmäfsigsten, die Addition mit den kleinsten zu beginnen.

In den Tab. 21 und 22 sind nun die Resultate der hinsichtlich aller einzelnen Ergogramme der Plane X, XI, XII und XIII, A & B durchgeführten Berechnungen wiedergegeben. Die beiden Tabellen fallen in 10 Abschnitte, den 10 ausgemessenen Ergogrammen entsprechend. Über jedem einzelnen Abschnitt ist die Art des betreffenden Ergogrammes und dessen Platz in den Planen angegeben. Übrigens zerfällt jeder Abschnitt in vier Kolonnen. Unter der Überschrift *A* ist die Gröfse der verrichteten Arbeit angeführt, unter *R* diejenige Anzahl Partialarbeiten, die verrichtet werden mufsten, um die

(Siehe Tab. 21 und 22 S. 148 und 149.)

unter *A* gegebenen Arbeitsgröfsen zu erreichen. Ferner sind unter $\triangle A$ die Differenzen zwischen den einzelnen Werten von *A* angeführt. Man sieht, dafs diese Differenzen beinahe gleichgrofs sind und um das Mittel 20 cm-K. schwanken; diese Differenz mit gröfserer Annäherung innezuhalten war nicht möglich. Die in den Kolonnen *A* angeführten Zahlen bilden also überall annähernd arithmetische Reihen, und es ist folglich unsere Aufgabe, zu untersuchen, ob sich für die Art und Weise, wie die entsprechenden Werte von *R*, der Anzahl der Partialarbeiten, anwachsen, ein Gesetz finden läfst. Es liegt ja verhältnismäfsig nahe, zu untersuchen, ob diese Gröfsen nicht möglicherweise eine geometrische Reihe bildeten. Zu diesem Zwecke bilden wir die Quotienten *R/r*, indem wir jeden Wert von *R* mit dem in der Reihe zunächst vorausgehenden dividieren; diese Quotienten sind unter der Überschrift *R/r* angeführt. Eine nähere Betrachtung der Quotienten zeigt nun, dafs diese annähernd konstant sind; ihr gröfster Wert übersteigt nur ausnahmsweise 2.0, und mehr oder weniger nähern sie sich 1.0. Vergleicht man diese Quotienten mit den entsprechenden, die für die Unterschiedsempfindlichkeit auf verschiedenen Sinnesgebieten gefunden wurden (siehe Tab. 13 und 16), so sieht man, dafs *R/r* überall innerhalb derselben Grenzen liegt. Mit derselben Annäherung, mit der das Webersche Gesetz

Digitized by Google

Tab. 21.

6 pr. Min. Pl. X, A				10 pr. Min. Pl. X, C				20 pr. Min. Pl. XI, A				30 pr. Min. Pl. XII, A.				40 pr. Min. Pl. XI, B			
A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$
34,8		7		27,0		7		19,5		3		39,1		7		21,4		4	
56,5	21,7	12	1,714	45,2	18,2	12	1,714	37,0	17,5	6	2,000	59,4	20,3	11	1,571	39,9	18,5	8	2,000
77,0	20,5	17	417	63,9	18,7	17	417	56,9	19,9	10	1,667	78,5	19,1	15	363	60,5	20,6	13	1,625
96,9	19,9	22	294	82,5	18,6	22	294	76,0	19,1	14	400	100,4	21,9	20	334	78,8	18,3	18	385
116,7	19,8	27	227	103,9	21,4	28	273	96,9	20,9	19	357	119,4	19,0	25	250	98,5	19,7	24	333
137,2	20,5	32	185	124,0	20,1	34	214	117,1	20,2	24	263	138,0	18,6	30	200	117,2	18,7	30	250
157,9	20,7	37	156	144,5	20,5	40	177	136,8	19,7	29	209	159,6	21,6	36	200	136,9	19,7	37	233
178,1	20,2	42	135	163,4	18,9	45	115	158,4	21,6	35	208	178,8	19,2	42	167	156,9	20,0	45	216
196,9	18,8	47	119	184,2	20,8	51	133	177,3	18,9	40	143	200,6	21,8	49	167	176,2	19,3	54	200
215,2	18,3	52	107	206,0	21,8	57	118	198,0	20,7	46	150	221,7	21,1	56	143	195,4	19,2	65	204
234,3	19,1	57	096	227,2	21,2	63	105	218,8	20,8	52	130	242,1	20,4	64	143	215,8	20,4	80	231
254,1	19,8	62	1,088	246,3	19,1	69	095	239,0	20,2	58	115	261,0	18,9	72	125	235,2	19,4	98	225
				265,5	19,2	75	087	258,1	19,1	64	104	282,0	21,0	83	153	255,1	19,9	124	1,265
				286,3	20,8	82	093	278,7	20,6	71	109	302,7	20,7	95	145				
				307,3	21,0	89	085	297,5	18,8	78	099	322,1	20,4	107	126				
				326,6	19,3	95	067	317,5	20,0	86	103	342,4	20,3	119	112				
				346,3	19,7	102	074	338,1	20,6	94	093	363,2	20,8	131	101				
				367,7	21,4	110	080	358,9	20,8	102	085	384,0	20,8	144	100				
				388,8	21,1	118	1,073	377,7	18,8	109	068	404,6	20,6	158	097				
								396,5	18,8	116	064	425,1	20,5	173	1,095				
								416,9	20,4	124	069								
								436,6	19,7	132	065								
								457,9	21,3	141	068								
								477,4	19,5	150	064								
								497,5	20,1	158	053								
								517,8	20,3	166	051								
								537,1	19,3	174	1,048								

Digitized by Google

Tab. 22.

60 pr. Min. Pl. XII, B				80 pr. Min. Pl. X, B				∞. A. L. h. Pl. XII, C				∞. A. L. v. Pl. XIII, A				∞. Fnn. Pl. XIII, B			
A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$
36,3		8		19,7		5		34,2		8		23,1		5		27,4		8	
57,4	21,1	14	1,750	40,3	20,6	11	2,200	55,9	21,7	14	1,750	42,5	19,4	10	2,000	46,9	19,5	16	2,000
77,3	19,9	20	429	61,3	21,0	18	1,636	76,3	20,4	20	430	63,3	20,8	16	1,600	66,9	20,0	27	1,700
97,4	20,1	27	350	82,3	21,0	26	444	97,3	21,0	28	400	84,8	21,5	23	438	87,3	20,4	47	1,740
118,2	20,8	35	296	102,6	20,3	35	346	118,6	21,3	39	393	104,0	19,2	31	348				
137,0	18,8	44	257	122,3	19,7	46	314	139,0	20,4	58	1,487	124,3	20,3	46	1,484				
157,3	20,3	57	296	142,7	20,4	61	326												
176,9	19,6	73	1,281	162,9	20,2	91	1,492												

als für die Abhängigkeit der Empfindung vom Reize gültig betrachtet werden kann, findet man also auch das Gesetz für die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Anzahl der Partialarbeiten gültig. Sofern man es mit der Genauigkeit nicht gar zu streng nimmt, kann man daher sagen: wenn die Gröfse der Muskelarbeit in arithmetischer Progression wächst, so wächst die entsprechende Anzahl der Partialarbeiten in geometrischer Progression.

Die genannte Gesetzmäfsigkeit ist jedoch, wie gesagt, keineswegs eine genaue. Es kann natürlich nicht die Rede davon sein, hierbei stehen zu bleiben, und wie wir sogleich sehen werden, wird es auch nicht schwer fallen, für die Abhängigkeit des *A* von *R* eine erschöpfende Formel zu finden. Es ist indes von vornherein einzusehen, dafs der vollständige mathematische Ausdruck ziemlich kompliziert werden mufs, weshalb es jedenfalls sein Interesse hat, dafs man in Fällen, wo es nicht auf grofse Genauigkeit ankommt, den genannten annähernden Ausdruck gebrauchen kann. Hierzu kommt noch, dafs man dem Gesetze eine Formulierung geben kann, die demselben gewisse praktische Bedeutung gewährt. Wenn nämlich die Verrichtung einer Arbeit von bestimmter Gröfse in einem Falle eine gewisse Anzahl Partialarbeiten erfordert, in anderen Fällen aber unter ganz unveränderten äufseren Verhältnissen z. B. die doppelte oder dreifache Anzahl, so wird man die Anzahl der erforderlichen Partialarbeiten offenbar als Mafs für die Ermüdung des Muskels benutzen können. Die Ermüdung ist die Ursache, weshalb durch jede einzelne maximale Anspannung nicht dieselbe Arbeitsleistung erreicht wird; folglich mufs die Ermüdung um so gröfser sein, je mehr maximale Anspannungen nötig sind, um dieselbe Arbeitsmenge zu liefern. Es ist mithin berechtigt, diejenige Anzahl maximaler Anspannungen (Partialarbeiten), die in jedem einzelnen Falle zu einer bestimmten Arbeitsleistung erforderlich ist, als Mafs für die Ermüdung des Muskels zu gebrauchen. Wir können also jetzt das Gesetz so formulieren:

W e n n d i e G r ö f s e d e r M u s k e l a r b e i t i n a r i t h m e t i s c h e r P r o g r e s s i o n w ä c h s t, s o

Digitized by Google

wächst die Ermüdung des Muskels annäherungsweise in geometrischer Progression.

Es ist freilich nicht sehr ermunternd, dafs es sich somit zeigt, wie die Ermüdung viel stärker wächst als die Menge der geleisteten Arbeit; man hüte sich aber, hieraus gar zu weit führende philanthropische Konklusionen zu ziehen. Denn es ist zu bedenken, dafs das Gesetz erstens nur annäherungsweise gültig ist, und ferner nur unter der bestimmten Bedingung, dafs die arbeitenden Muskeln bei jeder einzelnen Kontraktion maximal angespannt werden. Dies kommt im täglichen Leben aber fast niemals vor, weil jedermann, der mit körperlicher Arbeit zu thun hat, aus Erfahrung weifs, dafs man viel besser aushält und mithin auf die Dauer viel mehr Arbeit liefert, wenn man die Kräfte schont. Es wird keinem Maurergehilfen, der den Gesellen Steine bringt, der Einfall kommen, jedes einzelne Mal die möglichst grofse Last zu nehmen, die er überhaupt zu tragen vermag. Thäte er das, so würde — unserem Gesetze zufolge — die Ermüdung in geometrischer Progression fortschreiten, und er würde im Laufe eines Arbeitstages gar zu wenig Arbeit liefern. Deshalb nimmt er anfangs, während die Kräfte frisch sind, keine gröfsere Last, als solche, die ihm gestattet, bis zum Schlusse mit ungefähr demselben Gewicht auszuhalten; für dergleichen Verhältnisse ist das Gesetz aber durchaus nicht gültig. Dagegen erhält dasselbe z. B. bei Sportleistungen Bedeutung, wo kurze Zeit hindurch mit maximaler Anspannung gearbeitet wird; die reifsende Geschwindigkeit, mit welcher die Ermüdung unter solchen Verhältnissen der Erfahrung gemäfs zunimmt, ist mit dem Gesetze durchaus in Übereinstimmung.

Interessant ist es übrigens, dafs ein ähnliches Gesetz für intensive geistige Arbeit gültig zu sein scheint. Friedrichs Experimente mit Schulkindern[1] haben gezeigt, dafs die Ermüdung der Kinder, die durch die Anzahl der in Probeaufgaben gleichartiger Natur be-

---

[1] Untersuchungen über die Einflüsse der Arbeitsdauer u. s. w. auf die geistige Leistungsfähigkeit der Schulkinder. Zeitschr. f. Psych. Bd. 13.

Digitized by Google

gangenen Fehler gemessen wurde, als geometrische Reihe anwächst, wenn die Arbeitszeit als arithmetische Reihe wächst. So erhielt man in einer Versuchsreihe 47 Fehler vor Anfang der 1. Stunde, nach Schlusse der 1. Stunde 70 Fehler; am Schlusse der 2. Stunde 158 und am Schlusse der 3. Stunde 183 Fehler. Diese Zahlen wachsen annähernd mit dem Quotienten 7/4; nur wird die letzte Anzahl der Fehler gar zu klein. Dies läfst sich jedoch ohne Schwierigkeit erklären, denn wenn man Kinder auf so widernatürliche Weise zu dreistündigem, durch keine Pause unterbrochenem Arbeiten zwingt, werden sie sich zuletzt zweifellos im Halbschlummer befinden. Da infolgedessen während der letzten Stunde wohl kaum mit derselben Kraft gearbeitet wurde wie während der ersten Stunden, wird die Ermüdung auch nicht in demselben Verhältnisse fortschreiten. Weil diese Fehlerquelle und wahrscheinlich noch viele andre auf die Resultate influieren müssen, kann man auch nicht erwarten, in den gefundenen Zahlen mehr als eine Andeutung des Gesetzes zu erblicken.

Wir kehren nun zur Muskelarbeit zurück, um wo möglich ein genaueres Gesetz als das genannte logarithmische Abhängigkeitsverhältnis zwischen der Gröfse der Arbeit und der Anzahl der Partialarbeiten zu finden. Um nun vorerst einen besseren Überblick über die Variation der Quotienten R/r zu erhalten, stellen wir dieselben graphisch dar. Dies ist Pl. III gezeigt. Als Abscisse wurde hier R abgesetzt, als Ordinate der entsprechende Wert R/r für 8 der in den Tab. 21 und 22 angegebenen Ergogramme. Nur die beiden ersten, mit dem Takte 6 und 10 p. Min., sind weggelassen, weil die Zahlen für diese Ergogramme so nahe an die des dritten, mit dem Takte 20 pr. Min., fallen, dafs die Kurven in der Zeichnung zusammenlaufen würden. Es genügt daher, nur eine derselben aufzuzeichnen, und da die dritte die vollständigste ist, wählte ich diese.

Aus der graphischen Darstellung Pl. III gehen nun sogleich zwei Umstände hervor. Erstens ist R/r bei weitem nicht konstant. Wäre dies der Fall, so würden alle Kurven gerade Linien werden, was man streng genommen doch nicht von ihnen sagen kann. Ferner

Digitized by Google

zeigt es sich, dafs die Kurven in zwei Gruppen fallen; in der einen nimmt R/r immer mehr ab, während in der anderen der Quotient bis zu einem Minimum abnimmt, um darauf wieder zu wachsen. Erstere Gruppe mit immer mehr abnehmendem R/r umfafst alle Ergogramme mit langsamem Takte, von 6 bis 30 pr. Min. Die andre Gruppe enthält die in schnellem Takte ausgeführten Ergogramme, von 40 pr. Min. und aufwärts. Diese Verschiedenheit ist um so interessanter, da es sich erweist, dafs sie gerade derjenigen Sonderung unter unbegrenzten und begrenzten Ergogrammen entspricht, die wir früher einzig und allein wegen der Form der Ergogramme einführten. Es wurde nämlich (vgl. S. 139) nachgewiesen, dafs für die hier betrachtete V-P alle Ergogramme mit schnellerem Takt als 30 pr. Min. begrenzt waren, und bei diesem Takt hört gerade die fortwährende Abnahme des R/r auf. Wir haben an diesem Verhältnisse also zweifelsohne einen numerischen Ausdruck für die Verschiedenheit der Form der Kurven. Dafs diese Übereinstimmung der Form der Ergogramme mit der Variation von R/r nichts Zufälliges, möglicherweise Individuelles ist, geht — wenn es anders eines Beweises bedarf — deutlich aus Tab. 27 und 29 hervor, wo die Ausmessung von Dr. B's Ergogrammen angeführt ist. Rücksichtlich dieser V-P gaben noch 40 pr. Min. unbegrenzte und erst 60 pr. Min. begrenzte Ergogramme. Aus den genannten Tabellen ist nun zu ersehen, dafs R/r beim ersteren Takte fortwährend abnimmt, während beim letzteren Takte der Quotient ein Minimum erreicht und darauf wieder steigt.

Aus Untersuchungen über die Unterschiedsempfindlichkeit für Lichtempfindungen weifs man, dafs der Quotient R/r bei schwächeren Reizen mit wachsendem Werte von R bis zu einem Minimum abnimmt, worauf er (vgl. S. 70) bei sehr starken Reizen wieder steigt. Wir sehen nun, dafs hinsichtlich der Muskelarbeit eine ganz entsprechende Variation von R/r bei den begrenzten Ergogrammen stattfindet, während R/r bei den unbegrenzten fortwährend abnimmt. Und da diese Verschiedenheit von Umständen herrührt, die wir vollständig zu beherrschen vermögen, gibt es hier eine Möglichkeit, dafs wir uns die Ursache dieses eigentümlichen Verhält-

nisses erklären können. Ferner leuchtet es ein, dafs die grofse Übereinstimmung der Variationen von Rr auf den beiden Gebieten zur Folge haben mufs, dafs dasselbe mathematische Gesetz sich als an beiden Orten gültig erweist. Für die Unterschiedsempfindlichkeit fanden wir die Variationen von Rr ausgedrückt durch Gleich. 43 (28), dieses Unterscheidungsgesetz war aber als Differenzgleichung aus Gleich. 40, der korrigierten Mafsformel, abgeleitet. Es hat nun alle mögliche Wahrscheinlichkeit für sich, dafs wir in Gleich. 40 für die Empfindung E nur die Gröfse A der Muskelarbeit zu setzen brauchen, wodurch wir bekommen:

$$A = c_2 \log.\left[\frac{R}{R_0}(a - a_1 \log. R)\right] \text{ oder, indem } \frac{a}{R_0} = a_6 \text{ und } \frac{a_1}{R_0} = a_7:$$

$$A = c_2 \log. [R(a_6 - a_7 \log. R)] \quad \ldots . \text{ (Gleich. 49)}$$

als Ausdruck für die Abhängigkeit der verrichteten Muskelarbeit von der Anzahl der Partialarbeiten. Da Gleich. 40 aber für Lichtempfindungen nur gültig ist, solange Rr mit wachsenden Werten von R abnimmt, so kann Gleich. 49 auch nur für die unbegrenzten Ergogramme und für denjenigen Teil der begrenzten gültig sein, in welchem Rr abnimmt. Wie die Sache sich für den übrigen Teil der begrenzten Ergogramme stellt, das mufs natürlich der Gegenstand einer besonderen Untersuchung werden. Bevor wir die Stichhaltigkeit dieser Betrachtungen darlegen, müssen wir aber notwendigerweise noch ein anderes Verhältnis, die remanente Ermüdung nämlich, ins reine bringen. Sie ist für die Muskelarbeit von so wesentlicher Wichtigkeit, dafs wir uns keine Hoffnung machen dürfen, eine genaue Formel für die Gröfse der Muskelarbeit zu finden, wenn wir sie nicht mit in Rechnung bringen können.

Bevor ich aber die Betrachtungen über die Kurven im Pl. III abschliefse, mufs ich auf noch einen Umstand aufmerksam machen. Wie man sieht, verläuft der letzte Teil der unbegrenzten Ergogramme fast geradlinig und parallel zur Abscissenachse. Dies will mit anderen Worten heifsen, dafs das Webersche Gesetz für diese Äste der Kurven beinahe gültig ist. Nun sind die Psychologen bekanntlich nicht verwöhnt, was die Gültigkeit dieses Gesetzes betrifft; da man keine Übereinstimmung mit dem-

Digitized by Google

selben erreichen konnte, war man gewöhnlich hocherfreut, wenn die Zahlen auch nur innerhalb eines bescheidenen kleinen Umfangs paſsten. Untere und obere Abweichungen hat man sich im Laufe der Zeit als dermaſsen selbstverständlich zu betrachten gewöhnt, daſs man zuletzt gar nicht sah, in wie groſsem Umfange solche zu finden waren. Ich bezweifle deshalb auch nicht, daſs der geradlinige Teil der Kurven im Pl. III als ein guter Beweis für die Gültigkeit des Gesetzes auf diesem Gebiete betrachtet werden wird, indem man — wie gewöhnlich — den ganzen übrigen Ast der Kurven ignoriert. Dies ist natürlich aber eine durchaus verwerfliche Betrachtung der Sache. Stellt man die Frage auf: welche der Kurven im Pl. III entsprechen dem Weberschen Gesetze am meisten, so sind dies unbedingt die drei kleinen: ∞F, ∞r und ∞h. Denn für diese drei Kurven sind s ä m t l i c h e Werte von R/r am wenigsten verschieden. Diese drei Kurven rühren aber, wie oben (S. 144) beschrieben, von den Ergogrammen her, die mit umbundenem Arm, wo die Blutzirkulation möglichst gehemmt war, hervorgebracht wurden. Es kann natürlich keine Rede davon sein, eine völlige Hemmung des Stoffwechsels auf diese Weise zu bewirken, alle unsere Versuche zeigen aber, daſs wir uns konstanten Werten von R/r um so mehr nähern, je geringeren Einfluſs der Blutumlauf erhält. Je schneller der Takt ist, in welchem gearbeitet wird, um so langsamer sinkt der Wert von R/r, und um so früher beginnen die Werte wieder zu steigen. Und dies geschieht am geschwindesten, wenn wir durch künstliche Mittel den Stoffwechsel zu hemmen suchen. Es scheint also keinem Zweifel unterworfen zu sein, daſs die Gröſse der Muskelarbeit sich wirklich nach dem Weberschen Gesetze richten würde, wenn der Muskel gar keine Nahrung erhielte. Dies läſst sich natürlich nur durch myographische Messungen erreichen; die bisher vorliegenden sind aber nicht zu gebrauchen, um das Verhältnis nachzuweisen, da sie, meines Wissens, alle mit konstanter Belastung ausgeführt wurden, was nicht fortwährend die maximale Arbeit ergibt. Gehen wir aber davon aus, daſs man für den nichtgenährten Muskel die Arbeit $A = c \cdot \log. R$ haben wird, was recht wahrscheinlich ist, und ver-

Digitized by Google

gleichen wir diesen Ausdruck mit Gleich. 49, die für den genährten Muskel gilt, so sehen wir, daſs diese Formeln sich nur durch den Faktor $a_6 - a_7 \cdot \log. R$ voneinander unterscheiden, der also von dem Einflusse des Stoffwechsels auf die Gröſse der Muskelarbeit herrühren muſs. Dies stimmt völlig mit dem überein, was wir früher fanden. Bei der rationellen Entwickelung des Unterscheidungsgesetzes für Lichtempfindungen wurde nachgewiesen, daſs der Faktor $a - a_1 \log. R$ als Ausdruck für einen vitalen Prozeſs, der wahrscheinlich der Stoffwechsel war, mitkam. Bei der Muskelarbeit sehen wir nun, daſs dieser Faktor aller Wahrscheinlichkeit nach verschwindet, wenn der Stoffwechsel ausgeschlossen wird. Die Bedeutung des Faktors scheint somit festgestellt zu sein.

Die remanente Ermüdung. Wenn eine Muskelgruppe bis zu völliger Ermüdung gearbeitet hat, dauert es gewisse Zeit, bis sie sich wieder erholt, so daſs sie aufs neue ebenso groſse Arbeit wie vorher leisten kann. Wie lange Zeit erforderlich ist, hängt wahrscheinlich davon ab, ein wie groſser Teil der Muskeln des Körpers in Thätigkeit gewesen ist. Ist der ganze Körper ermüdet, z. B. nach einer anstrengenden Bergwanderung, so wird bekanntlich das Ausruhen während einer einzigen Nacht nicht immer zur völligen Erholung genügen. Handelt es sich dagegen nur um eine kleinere Muskelgruppe, wie die bei den ergographischen Versuchen thätige, so wird eine ungefähr dreistündige Ruhe hinreichen, um den ursprünglichen Status wiederherzustellen. Dies geht z. B. aus den beiden Ergogrammen Pl. XVI, A und Pl. XI, B hervor, die an demselben Tage, letzteres 3 Stunden nach ersterem, von derselben V-P, A. L., ausgeführt wurden; der Takt war bei beiden Versuchen selbstverständlich derselbe, 40 pr. Min. Nun ist es offenbar unmöglich, sich durch bloſse Betrachtung zweier solcher Ergogramme mehr als ein ungefähres Gutachten zu bilden, ob dieselben sich an Gröſse und Form ähnlich sind. Zu genauer Vergleichung wird es notwendig sein, die eine Kurve über die andere zu legen. Hierbei ist es ganz überflüssig, alle kleinen, zufälligen Unregelmäſsigkeiten mitzunehmen, da diese den Vergleich eher erschweren würden. Ich verfuhr deshalb

folgendermaſsen. Ich teile das Ergogramm in Gruppen von 10 Partialarbeiten; ist der Rest kleiner als 5, so wird er zur letzten Gruppe gezählt, sonst bildet er eine Gruppe für sich. Für jede Gruppe nehme ich das Mittel der Gröſse der Partialarbeiten. Diese Mittelzahlen geben dann ein ziemlich genaues Bild von dem Verlaufe der Kurve. Werden die beiden genannten Ergogramme auf diese Weise behandelt, so erhält man die in der Tab. 23 angegebenen Werte für die successiven Mittelzahlen. Einen besseren Überblick als den von der bloſsen Betrachtung der Zahlen gewährten erhält man durch das graphische Aufzeichnen der Resultate. Dies ist Pl. IV. A

Tab. 23.

Pl. XVI, A	4,8	4,0	3,3	2,7	2,0	1,5	1,3	1,2	0,9	0,7	0,6	
Pl. XI, B	4,9	3,7	3,2	2,8	2,3	1,9	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7

gezeigt. Die Ordinaten sind gleich weit abstehend mit 10 mm Zwischenraum genommen, und ihre Höhen sind die in der Tab. 23 angeführten Mittel. Die gebrochenen Linien durch die Endpunkte der Ordinaten zeigen also den Verlauf der beiden Ergogramme. Die Figur zeigt, daſs die beiden Kurven sehr nahe aneinanderfallen, ohne sich jedoch während irgend einer Strecke zu decken. Man lernt also hieraus, daſs selbst, wenn man Sorge trägt, alle äuſseren und inneren Umstände möglichst gleich zu behalten, doch stets so viele zufällige Verhältnisse auf die Gröſse der Muskelarbeit influieren, daſs die Ergogramme sich gewöhnlich nicht decken werden. Dieses Ergebnis erhält wesentliche Bedeutung für unsere folgenden Betrachtungen.

Wir erheben jetzt die Frage: wie wird das Verhältnis zwischen den Ergogrammen, wenn man die Muskeln sich nicht völlig ausruhen läſst, sondern neue Arbeit von ihnen verlangt, während nach der vorhergehenden Arbeit noch einige Ermüdung remanent ist? Dies läſst sich leicht durch eine Reihe von Versuchen beantworten. Nach Ausführung eines Ergogramms läſst man die Hand z. B. 10 Min. ruhen; darauf wird ein neues Ergogramm ausgeführt, dann 10 Min. Pause, u. s. w. Die durch eine solche Versuchsreihe entstan-

denen Ergogramme sind Pl. XVI, B—E wiedergegeben. Als V-P that A. L. Dienste; der Takt war 40 pr. Min., der zeitliche Zwischenraum zwischen den einzelnen Arbeiten 10 Min. Des näheren Vergleiches wegen berechnete ich wie oben das Mittel für Gruppen von 10 Partialarbeiten; diese Mittel sind für jedes der vier Ergogramme in der Tab. 24 angeführt. Im Pl. V ist aufserdem eine graphische Darstellung der Ergebnisse gegeben, die indes zu verschiedenen Bemerkungen veranlafst. Erstens ist Pl. V in doppelt so grofsem Mafsstabe gezeichnet als Pl. IV, A, da die Kurven sonst zu nahe aneinanderfallen würden. Ferner ist jede Kurve mit ihrer besonderen Linie, vollständig aufgezeichnet oder verschiedenartig punktiert, abgebildet, damit man die Kurven leichter auseinanderhalten kann. Endlich legte ich, wie aus der Figur zu ersehen, die Kurven auf bestimmte Weise im Verhältnis zu einander. Zuerst wurde das gröfste Ergogramm, durch eine ununterbrochene Linie angegeben, mit einem Abstande von 20 mm zwischen den Ordinaten, gezeichnet. In dieser Kurve suchte ich darauf die Punkte auf, deren Ordinaten den gröfsten Mitteln der anderen drei Ergogramme entsprechen. Diese Punkte wurden zu Ausgangspunkten der drei letzteren gewählt, deren Ordinaten übrigens ebenfalls gleich weit, 20 mm, voneinander abstehend gelegt wurden. Die vier Kurven unterscheiden sich, wie man sieht, eigentlich nur dadurch voneinander, dafs sie mit verschiedener Höhe anfangen. Wegen des grofsen Mafsstabs treten die kleinen Verschiedenheiten derselben als unverhältnismäfsig grofs hervor; in der Wirklichkeit weichen die vier Kurven nirgends mehr voneinander ab, als die beiden im Pl. IV, A. Die Abweichungen sind daher zunächst als von zufälligen Umständen herrührend zu betrachten; der einzige bedeutende Unterschied ist der, dafs das Ergogramm in immer geringerer

Tab. 24.

Pl. XVI, B	4,3	3,4	2,6	2,0	1,5	1,2	0,8	0,6
Pl. XVI, C		3,4	2,8	2,6	2,2	1,5	1,3	0,9
Pl. XVI, D			2,8	2,5	1,8	1,4	1,2	1,0
Pl. XVI, E				2,1	1,6	1,4	1,2	1,0

Digitized by Google

Höhe anfängt, je gröfsere Fortschritte die remanente Ermüdung macht. Nennen wir das mit ungeschwächten Kräften ausgeführte Ergogramm das vollständige, die übrigen die unvollständigen, so wird also jedes unvollständige Ergogramm aus dem vollständigen dadurch zu erhalten sein, dafs man sich einen immer gröfseren Teil des letzteren weggeschnitten denkt. Dafs diese Übereinstimmung zwischen Ergogrammen, die in verschiedenen Stadien remanenter Ermüdung hervorgebracht werden, kein reiner Zufall ist, läfst sich leicht nachweisen.

Pl. XVII, A—E zeigt 5 von Fnn ausgeführte Ergogramme; der Takt war 40 pr. Min., der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurven betrug 15 Min. Behandeln wir diese Ergogramme ebenso wie die vorigen, indem wir für jede Gruppe von 10 Partialarbeiten das Mittel nehmen, so erhalten wir die in der Tab. 25 angeführten Werte. Graphisch sind die Resultate Pl. V wiedergegeben, wo die Kurven auf dieselbe Weise ein-

Tab. 25.

Pl. XVII, A	3,2	2,2	1,6	1,6	1,2	1,0	0,7	0,6	
Pl. XVII, B		2,2	1,5	1,4	1,2	0,8	0,8	0,6	0,5
Pl. XVII, C		2,7	1,8	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6
Pl. XVII, D		2,3	1,5	1,4	1,1	0,8	0,6		
Pl. XVII, E			1,9	1,7	1,1	0,8	0,6		

gezeichnet sind wie die vier im Pl. XVI, B—E. Das vollständige, durch eine ununterbrochene Linie wiedergegebene Ergogramm wurde also zuerst gezeichnet, die vier anderen von denjenigen Punkten des vollständigen Ergogramms aus, deren Ordinaten den Anfangsordinaten der unvollständigen entsprechen. Wie man sieht, kreuzen diese fünf Kurven sich an so vielen Punkten, dafs ihre gegenseitigen Abweichungen als rein zufällig betrachtet werden dürften.

Die bisher betrachteten beiden Versuchsreihen wurden um einen verhältnismäfsig frühen Zeitpunkt ausgeführt, als die Übung der V-P noch gering war. Die entstandenen Ergogramme sind deshalb klein, sowohl die Höhe als die Länge ist unbeträchtlich. Bei fortschreitender Übung verändert sich dies; der Einflufs

Digitized by Google

der remanenten Ermüdung wird darum aber doch nicht geringer; eher wird er auffallender, weil die grofsen Ergogramme die Möglichkeit weit gröfserer Veränderungen öffnen. Dies geht z. B. aus den beiden d. $^{6}/_{5}$ von A. L. ausgeführten Kurven Pl. XVIII, A und B hervor. Der Takt war 40 pr. Min. Die Kurve A wurde 5 Min. nach dem Pl. XIII, C wiedergegebenen vollständigen Ergogramm aufgenommen, die Kurve B wieder 5 Min. nach Abschlufs von A. Die Mittel der successiven Gruppen von 10 Partialarbeiten sind Tab. 26 angeführt. Die Zahlen selbst zeigen sogleich den grofsen

Tab. 26.

Pl. XIII, C	6,2	5,6	4,7	4,2	3,7	3,2	2,7	2,1	1,8	1,5
Pl. XVIII, A				3,6	3,6	3,4	2,9	2,7	2,1	1,6
Pl. XVIII, B						3,4	3,0	2,5	2,0	1,7

Pl. XIII, C	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3
Pl. XVIII, A	1,5	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5	0,4		
Pl. XVIII, B	1,4	1,0	0,9	0,6					

Einflufs der remanenten Ermüdung; die graphische Darstellung, Pl. IV, B. wurde ebenso ausgeführt wie in den vorhergehenden Fällen. Das erste unvollständige Ergogramm weicht allerdings eine Strecke lang ziemlich bedeutend von dem vollständigen ab, später fallen sie aber fast ganz miteinander zusammen, und dies gilt auch von dem zweiten unvollständigen Ergogramme in dessen ganzem Verlauf. Die Nichtübereinstimmung scheint also auch hier auf zufälligen Umständen zu beruhen; unserer früheren Erfahrungen eingedenk können wir kaum bezweifeln, dafs eine Wiederholung der Versuche eine ganz andere gegenseitige Lage der beiden Kurven ergeben würde. Fassen wir diese verschiedenen Beobachtungen zusammen, so kommen wir also zu folgendem Resultate:

Das in irgend einem Stadium der remanenten Ermüdung hervorgebrachte unvollständige Ergogramm beginnt mit geringerer Höhe als das vollständige Ergogramm, hat sonst aber annäherungsweise denselben Verlauf wie letzteres. Die remanente Ermüdung

wirkt also wie eine — gröfsere oder geringere — Anzahl von Partialarbeiten, die unmittelbar vor Anfang des unvollständigen Ergogramms ausgeführt wurden.

Das Arbeitsgesetz. Wir sind nun so weit gelangt, dafs wir im stande sind, einen Ausdruck für die Abhängigkeit der verrichteten Muskelarbeit von der Anzahl der Partialarbeiten zu formulieren. Es wurde oben (S. 152) nachgewiesen, dafs der Quotient R/r zwischen der Anzahl der successiven Partialarbeiten auf gesetzmäfsige Weise variiert, wenn die verrichtete Arbeit wie eine arithmetische Progression anwächst. Und ein Vergleich mit entsprechenden Verhältnissen auf anderen Gebieten führte zu dem Resultat, dafs man wahrscheinlich als Ausdruck für die Gröfse der Arbeit haben würde:

$$A = c_2 \log. [R (a_6 - a_7 \log. R)] \quad . \; . \; . \; . \text{ (Gleich. 49)},$$

wo R diejenige Anzahl Partialarbeiten bezeichnet, welche zur Lieferung der Arbeitsmenge A erforderlich ist, während c_2, a_6 und a_7 Konstanten sind. Dieser Ausdruck kann natürlich aber nur für ein vollständiges Ergogramm gültig sein, da wir ja sahen, dafs während remanenter Ermüdung weniger Arbeit geleistet wird. Gleich. 49 mufs jedoch leicht so erweitert werden können, dafs sie auch die unvollständigen Ergogramme umfafst, da man sich stets denken kann, statt der remanenten Ermüdung eine gewisse Anzahl unmittelbar vorher ausgeführter Partialarbeiten zu haben. Setzen wir also in Gleich. 49 $R + y$ statt R, indem y diejenige Anzahl Partialarbeiten bedeutet, welche dieselbe Wirkung haben würde wie die vorhandene remanente Ermüdung, so mufs die Gleichung auch für alle dem vollständigen Ergogramm entsprechenden unvollständigen gültig sein. $y = 0$ würde dann wieder das vollständige Ergogramm geben — wenn vor dessen Ausführung jede Spur einer remanenten Ermüdung entfernt wäre. Es ist übrigens die grofse Frage, ob ein solcher Fall jemals im täglichen Leben eintritt, wenn man keine besonderen Mafsregeln trifft, um ihn herbeizuführen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen ist es ja kaum möglich, den Gebrauch der linken Hand gänzlich zu vermeiden, und

selbst wenn man dies zu verhüten sucht, weifs man ja, dafs der starke Gebrauch einiger Muskeln die Arbeitsfähigkeit der nicht benutzten Muskeln schwächt. Alle diese Umstände im Verein scheinen mit Notwendigkeit bewirken zu müssen, dafs völlige Abwesenheit der remanenten Ermüdung sich im täglichen Leben leichter denken als nachweisen läfst. Die Folge hiervon wird daher, dafs wir selbst für die vollständigen Ergogramme $y > 0$ haben müssen, so dafs das »Arbeitsgesetz« also folgende Form erhält:

$$A = c_2 \log. \left[(R + y)\left(a_6 - a_7 \log. (R + y)\right)\right].$$

Wollen wir nun die Gültigkeit dieser Gleichung an den vorliegenden Ergogrammen prüfen, so zeigt sich sogleich die Schwierigkeit, dafs wir nicht im stande sind, die Gröfse der Konstanten zu bestimmen. Wir können die Gleichung freilich ein wenig umformen:

$$A = c_2 \log. \left[(R + y)\, a_7 \left(\frac{a_6}{a_7} - \log. (R + y)\right)\right] =$$

$$c_2 \log. (R + y) + c_2 \log. a_7 + c_2 \log. \left[\frac{a_6}{a_7} - \log. (R + y)\right]$$

Setzt man hier $c_2 \log. a_7 = q$ und $a_6/a_7 = q_1$, so erhält man:

$$A = q + c_2 \log. (R + y) + c_2 \log. [q_1 - \log. (R + y)]$$

. . . . (Gleich. 50).

In dieser Gleichung lassen q und c_2 sich allerdings mittels der vorliegenden Messungen bestimmen, y und q_1 dagegen, die in logarithmischen Funktionen vorkommen, können nicht direkt bestimmt werden. Was y betrifft, ist die Schwierigkeit nicht so grofs, solange man sich nur mit vollständigen Ergogrammen beschäftigt, wo y eine ganze Zahl ist und einen von 0 nur wenig verschiedenen Wert hat. Prüft man durch successives Einsetzen von 1, 2, 3 u. s. w. für y, welcher Wert mit den Messungen am besten übereinstimmt, so wird man schnell zu einem Resultat gelangen. Schlimmer geht es mit q_1, von dessen Gröfse man von vornherein keine Vorstellung haben kann, und dessen hinlänglich genaue Bestimmung durch blofses Probieren deshalb äufserst beschwerlich sein wird. Zum Teil kann indes Abhilfe verschafft werden. Gleich. 50 zufolge sollten beide Glieder nämlich denselben Faktor c_2 haben; setzt man

nun statt des letzten c_2 ein q_2, so dafs die Gleichung folgende Form erhält:

$$A = q + c_2 \log.(R + y) + q_2 \log.[q_1 - \log.(R + y)]$$
. . . . (Gleich. 51),

so hat man also drei Konstanten, q, c_2 und q_2, die sich mit Genauigkeit bestimmen lassen, und hierdurch wird also der Fehler zum Teil ausgeglichen, den man durch eine weniger angemessene Wahl des q_1 einführt. Es ist der in Gleich. 51 gegebene Ausdruck, dessen Gültigkeit für die vorliegenden ergographischen Messungen wir jetzt prüfen sollen.

Wie früher (S. 154) erwähnt, läfst sich die Gültigkeit der Gleich. 49 und 51 indes nur erwarten, solange R/r mit wachsenden Werten von R abnimmt; die Formel kann mit anderen Worten nur für die unbegrenzten Ergogramme und für den einen Ast der begrenzten gültig sein. Es wird nun ganz natürlich sein, mit der Untersuchung der Gültigkeit rücksichtlich der unbegrenzten Ergogramme anzufangen, da wir hier sicher gehen können, keine Komplikationen anzutreffen. Zu diesem Zwecke wählen wir zwei der früher besprochenen, von verschiedenen Versuchspersonen bei verschiedenem Takte ausgeführten Ergogramme. Die Ausmessungen derselben sind Tab. 27 und 28 angegeben; wir nehmen nun jede für sich.

Tab. 27.

Dr. B. 40 pr. Min. Pl. XV, A.

A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A ber.	f
5,0 *		1		5	0,0
23,1	18,1	5		28	— 4,9
43,4	20,3	10	2,000	50	— 6,6
65,2	21,8	16	1,600	71	— 5,8
83,4	18,2	22	1,375	87	— 3,6
103,2	19,8	29	1,318	105	— 1,8
123,1 *	19,9	37	1,276	123	+ 0,1
144,0	21,0	46	1,243	141	+ 3,0
164,8	20,8	56	1,217	159	+ 5,8
184,0	20,0	69	1,232	180	+ 4,0
203,6	19,6	83	1,203	203	+ 0,6
223,1	19,5	97	1,169	222	+ 1,1
243,5	20,4	112	1,155	242	+ 1,5
263,3 *	19,8	129	1,151	263	+ 0,3
283,6	20,3	147	1,140	284	— 0,4

Digitized by Google

Tab. 28.

A. L. 30 pr. Min. Pl. XII, A.

A	*R*	*A* ber.	*f*
17,9	3	15	+ 2,9
39,1	7	42	— 2,9
59,4	11	64	— 4,6
78,5	15	83	— 4,5
100,4	20	103	— 2,6
119,4	25	123	— 3,6
138,0	30	145	— 7,0
159,6	36	163	— 3,4
178,8	42	180	— 1,2
200,6	49	202	— 1,4
221,7	56	218	+ 3,7
242,1	64	238	+ 4,1
261,0	72	258	+ 3,0
282,0	83	280	+ 2,0
302,7	95	304	— 1,3
322,1	107	326	— 3,9
342,4	119	347	— 4,6
363,2	131	366	— 2,8
384,0	144	384	0,0
404,6	158	407	— 2,4
425,1	173	426	— 0,9

Tab. 27 ist wie Tab. 21 und 22 geordnet, indem die successiven Werte von *A* soweit möglich eine konstante Differenz, 20 cm-K. haben, was aus der Kolonne $\triangle A$ hervorgeht, wo diese Differenzen angeführt sind. Unter *R* ist die Anzahl der Partialarbeiten mitgeteilt, die erforderlich sind, um die entsprechende, unter *A* angegebene Arbeitsmenge hervorzubringen. Aus dem Quotienten R/r ist zu ersehen, dafs das Ergogramm unbegrenzt ist, da R/r mit wachsenden Werten von *R* fortwährend abnimmt. Um nun die Gültigkeit der Gleich. 51 zu prüfen, müssen wir Werte für q_1 und y wählen. Ziemlich willkürlich setzte ich $q_1 = 3{,}05$, während es sich erweist, dafs $y = 3$ eine passende Gröfse ist. Darauf lassen sich also q, c_2 und q_2 bestimmen; will man die wahrscheinlichsten Werte haben, so mufs die Bestimmung mittels der Methode der kleinsten Quadrate geschehen. Dies würde zu einer unverhältnismäfsig grofsen Berechnung mit zum Teil sehr grofsen Zahlen zwingen; ich zog es deshalb vor, mich auf eine viel bequemere, eigentlich aber mehr überzeugende Methode zu beschränken. Die drei in der Tab. 27 mit *

bezeichneten Werte von A wurden nebst den entsprechenden Werten von R in Gleich. 51 eingesetzt. Man erhält hierdurch drei Gleichungen, in denen nur q, c_2 und q_2 als Unbekannte vorkommen; diese drei Gröfsen lassen sich folglich finden. Auf diese Weise erhält man $q = 488$, $c_2 = -122$ und $q_2 = -1053$, also bekommt man für dieses Ergogramm folgende Formel:

$$A = 488 - 122 \log.(R+3) - 1053 \log.[3{,}05 - \log.(R+3)].$$

Aus der Gleichung läfst sich A berechnen, wenn man die verschiedenen Werte von R einsetzt; die auf diese Weise gefundenen Gröfsen sind in der Tab. 27 unter »A ber.« angeführt. Unter f ist überdies die Abweichung der gemessenen von den berechneten Werten angegeben. Abweichungen sind zu finden, wie man sieht; dieselben sind aber erstaunlich klein, wenn man bedenkt, dafs zwei der in der Formel vorkommenden Konstanten ziemlich willkürlich gewählt sind, während drei andere nur mittels drei Gruppen von Werten für A und R bestimmt wurden, mithin an zufälligen Fehlern leiden. Bestimmte man die wahrscheinlichen Werte von q, c_2 und q_2, so müfsten die Abweichungen der Berechnung von der Messung bedeutend kleiner werden, und wäre es möglich, für sämtliche fünf Konstanten in Gleich. 51 die wahrscheinlichen Werte zu finden, so würden diese Abweichungen zweifellos bis auf rein verschwindende Gröfsen reduziert werden. Im Folgenden werden wir sehen, dafs eine glücklichere Wahl des q_1 und des y die Fehler wirklich sehr bedeutend vermindert.

Wir nehmen nun die Tab. 28 vor. Dieses Ergogramm findet sich bereits Tab. 21 angeführt, deshalb gebe ich hier nur die zusammengehörenden Werte von A und R an. In Gleich. 51 ist $q_1 = 4{,}00$ und $y = 4$ gesetzt. Um nun gar zu grofse Fehler der Konstanten q, c_2 und q_2 zu vermeiden, bestimmte ich diese wie oben durch drei Gruppen willkürlich gewählter Werte von A und R, diese Bestimmung führte ich jedoch zweimal mit verschiedenen Gruppen von Werten aus, worauf ich das Mittel der gefundenen Gröfsen nahm. Ich erhalte hierdurch $q = 2378$, $c_2 = -434$ und $q_2 = -4000$. Die Formel wird also:

$$A = 2378 - 434 \log.(R+4) - 4000 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)].$$

Die hieraus berechneten Werte für A nebst den Abweichungen zwischen A und »ber. A« sind in Tab. 28 angegeben. Wie man sieht, sind die Fehler ungefähr von derselben Gröſse wie in Tab. 27, und überdies variieren sie fast auf dieselbe Weise. Wie groſs die Übereinstimmung der berechneten Werte mit den gemessenen ist, läſst sich am besten aus der graphischen Darstellung Pl. VI ersehen. Als Abscisse wurde R, als Ordinate A abgesetzt; die einzelnen gemessenen Werte von A sind durch kleine Kreise bezeichnet, während die berechnete Kurve ohne besondere Markierung der eingeführten Ordinaten abgesetzt ist. Die beiden Kurven fallen so nahe aneinander, daſs die Gültigkeit der Gleich. 51 wohl keinen Zweifel erleiden kann, namentlich wenn man bedenkt, daſs ihre Abweichung voneinander durch eine genaue Bestimmung der Konstanten beträchtlich reduziert werden würden.

Es erübrigt nun, die Gültigkeit der Gleich. 51 für die begrenzten Ergogramme zu prüfen. Wir wählen auch hier zwei von verschiedenen Versuchspersonen bei verschiedenem Takte ausgeführte Ergogramme; die Messungen sind Tab. 29 und 30 angegeben. Die nähere

Tab. 29.

Dr. B. 60 pr. Min. Pl. XIV, B.

A	$\triangle A$	R	$\frac{R}{r}$	A ber.	f	A_1	f_1
20,7 *		4		20	+ 0,7		
40,7	20,0	8	2,000	38	+ 2,7		
59,3	18,6	12	1,500	57	+ 2,3		
80,1	20,8	17	1,417	80	+ 0,1		
100,0	19,9	22	1,294	98	+ 2,0		
118,5	18,5	27	1,227	119	— 0,5		
139,1 *	20,6	33	1,222	139	+ 0,1		
158,2	19,1	39	1,182	158	+ 0,2		
176,9	18,7	45	1,154	174	+ 2,9		
196,3	19,4	52	1,156	193	+ 3,3		
216,9	20,6	60	1,154	218	— 1,1		
236,2 *	19,3	68	1,133	236	+ 0,2		
255,8	19,6	78	1,147	261	— 5,2	258,0	— 2,2
276,1	20,3	90	1,154	285	— 8,9	274,8	+ 1,3
296,6	20,5	105	1,167	315	— 18,4	295,8	+ 0,8
316,3	19,7	121	1,152	343	— 27,7	316,6	— 0,3
336,9	20,6	140	1,157	380	— 43,1	339,8	— 2,9
357,6	20,7	160	1,145	409	— 51,4	356,8	+ 0,8

Digitized by Google

Tab. 30.

A. L. 40 pr. Min. Pl. XI, B.

A	R	A ber.	f	A_1	f_1
21,4 *	4	21	+ 0,4		
39,9	8	40	— 0,1		
60,5	13	59	+ 1,5		
78,8	18	78	+ 0,8		
98,5 *	24	99	— 0,5		
117,2	30	115	+ 2,2		
136,9	37	134	+ 2,9		
156,9	45	154	+ 2,9		
176,2 *	54	176	+ 0,2		
195,4	65	202	— 6,6	198,0	— 2,4
215,8	80	230	— 14,2	214,0	+ 1,8
235,2	98	264	— 28,8	233,6	+ 1,6
255,1	124	308	— 52,9	256,8	— 1,7

Ordnung der Tabelle ist ebenso wie vorher. Aus dem Quotienten R/r in Tab. 29 sieht man, dafs das Ergogramm ein begrenztes ist, indem R/r bis auf ein Minimum sinkt, worauf es wieder, obschon etwas unregelmäfsig, steigt. Es läfst sich also erwarten, dafs Gleich. 51 nur für den ersten Teil gültig ist. Zur Berechnung der Konstanten sind deshalb selbstverständlich nur solche Werte von A zu gebrauchen, die innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Gesetzes liegen; die mit * bezeichneten wurden benutzt. Setzt man nun in der Gleich. 51 $q_1 = 4{,}00$ und $y = 4$, so findet man wie oben mittels der drei Gruppen von zusammengehörenden Werten für A und R die Konstanten $q = 2946$, $c_2 = -591$ und $q_2 = -4871$. Man hat folglich die Gleichung:

$$A = 2946 - 591 \log.(R+4) - 4871 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)],$$

woraus sich A durch successives Einsetzen der Werte von R berechnen läfst. Die auf diese Weise bestimmten Gröfsen sind unter »A ber.« angeführt; die Berechnung ist auch bis über die Grenzen der Gültigkeit des Gesetzes hinaus durchgeführt. Aus der Kolonne f sind die Abweichungen der Berechnung von der Messung zu ersehen. Hieraus geht hervor, dafs die Gleichung sehr gut pafst, solange R/r abnimmt; die Fehler sind hier sehr klein. Dafs dieselben sich nicht gleichmäfsig nach positiver und negativer Richtung verteilen, hat hier

nichts zu bedeuten; dies findet seinen Grund ausschliefslich darin, dafs bei der Bestimmung der Konstanten der Gleichung keine Dezimalstellen mitgenommen wurden, weshalb alle Werte unter »ber. *A*« nur mit ganzen Zahlen angeführt sind. Diese sind sämtlich um ungefähr 0,4 zu klein; wird diese Dezimale zu den berechneten Werten von *A* hinzugefügt, so werden mehrere Fehler, die mit kleinen positiven Gröfsen angeführt sind, negativ werden. Dasselbe gilt übrigens auch von den früher berechneten Ergogrammen (Tab. 27 und 28), wo der Fehler indes weniger auffällt. Es findet hier also fast verblüffende Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung statt und zwar gerade so weit, wie diese Übereinstimmung sich erwarten liefs; darauf gehen die Zahlen aber völlig voneinander ab, indem die berechneten Werte gar zu grofs sind, und ferner sieht man, dafs die Abweichungen immer mehr zunehmen. Die Divergenz beginnt ungefähr bei $R = 78$, und die Fehler sind den Zuwächsen des R annähernd proportional. Man hat mit anderen Worten: $f = q_3 \cdot (R - q_4)$, wo q_3 und q_4 zwei Konstanten sind. Bestimmt man die wahrscheinlichen Werte dieser Konstanten, so erhält man $q_3 = 0{,}6$ und $q_4 = 73$. Aus der Formel $f = 0{,}6 \cdot (R - 73)$ lassen sich also die wahrscheinlichen Fehler berechnen, und zieht man diese Gröfsen von den »ber. *A*« ab, so bekommt man die in der Kolonne A_1 angeführten Zahlen. Man sieht, dafs diese mit den gemessenen Werten von A sehr wohl übereinstimmen; die Abweichungen f_1 sind durchweg nicht gröfser als f für den ersten Teil der Kurve. Es geht also hieraus hervor, dafs wir für denjenigen Teil des Ergogramms, wo $R\,r$ mit wachsenden Werten von R zunimmt, die Arbeit aus folgender Formel berechnen können:

$$A_1 = 2946 - 591 \log. (R + 4) - 4871 \log. [4{,}00 - \log. (R + 4)] - 0{,}6\,(R - 73).$$

Dafs wir hier mit keinem Zufalle zu thun haben, ist leicht nachzuweisen; für jedes andere begrenzte Ergogramm gilt dasselbe. In der Tab. 30 sind die gemessenen Werte rücksichtlich eines anderen Ergogramms angegeben, bei dessen Ausführung sowohl die V-P als der Takt anders war als in Tab. 29. Das Ergogramm der Tab. 30 wurde bereits früher benutzt (siehe Tab. 21);

ich führe hier deshalb nur die Werte von A und R an. R/r nimmt mit wachsendem R ab bis $R = 54$; für diesen Teil der Kurve mufs folglich Gleich. 51 gültig sein, während für den übrigen Teil der Kurve folgender Ausdruck zu finden ist:

$$A_1 = q + c_2 \log.(R + y) + q_2 \log.[q_1 - \log.(R + y)] - q_3 (R - q_4) \text{ . . (Gleich. 52).}$$

Die Berechnungen wurden nun ganz ebenso wie früher durchgeführt; um Wiederholungen zu vermeiden, teile ich deshalb nur die Ergebnisse mit. Für den ersteren Teil des Ergogrammes erhält man folgende Formel:

$$A = 1483 - 372 \log.(R + 4) - 2713 \log.[3.50 - \log.(R + 4)].$$

Für den letzteren Teil dagegen:

$$A_1 = 1483 - 372 \log.(R + 4) - 2713 \log.[3,50 - \log.(R + 4)] - 0,8 (R - 60).$$

Die aus diesen Ausdrücken berechneten Werte sind nebst den Abweichungen f und f_1 der Berechnung von der Messung in der Tabelle angeführt. Wie man sieht, findet auch hier völlig befriedigende Übereinstimmung statt.

Um besseren Überblick zu gewinnen, als die Betrachtung der Zahlen allein über die Verhältnisse der begrenzten Ergogramme zu geben vermag, habe ich die Resultate der Tab. 29 im Pl. VII graphisch dargestellt. Als Abscisse wurde R, als Ordinate A abgesetzt. Die gemessenen Werte von A sind durch einen kleinen Kreis markiert. Bis $R = 73$, welcher Punkt durch einen kleinen Strich, senkrecht zur Abcissenachse, angegeben ist, gilt Gleich. 51; die daraus berechnete Kurve ist eingezeichnet, fällt aber in der gröfsten Strecke so nahe an die Kurve, die sich durch die gemessenen Werte legen läfst, dafs es nur möglich war, eine einzige Linie zu zeichnen. Von $R = 73$ an gilt Gleich. 52; die daraus berechnete und eingezeichnete Kurve fällt ebenfalls aufserordentlich nahe an die experimentell gefundene. Die punktierte, bei $R = 73$ beginnende Kurve zeigt den Verlauf, den die Kurve haben würde, wenn Gleich. 51 für das ganze Ergogramm gültig wäre. Es erweist sich, dafs dieser Ast der Kurve von den gemessenen Werten so sehr abweicht, dafs keine Möglichkeit vorliegt, die Gleich. 51 als für das ganze Ergogramm gültig zu betrachten.

Aus diesen Resultaten geht also zweifellos hervor, dafs die Sonderung zwischen begrenzten und unbegrenzten Ergogrammen keine willkürliche ist, die sich nur auf eine unwesentliche Verschiedenheit des Aussehens der Ergogramme stützte, und dafs im Gegenteil die begrenzten Ergogramme ihre eigentümliche Form dadurch erhalten, dafs in einem gewissen Stadium ein neues Moment hinzutritt, weshalb die Arbeit von diesem Augenblick an einem anderen Gesetze gemäfs anwächst als vorher. Was die Ursache dieser Veränderung ist, das wissen wir nicht. Es läfst sich einzig und allein nachweisen, dafs der Punkt, an welchem die Veränderung eintritt, fast ganz mit dem Momente zusammentrifft, da die Selbstbeobachtung konstatiert, dafs die Ermüdung schmerzhaft wird. Ein genaues Zusammentreffen der beiden Erscheinungen, der subjektiven Wahrnehmung und des objektiven Punktes, wo R/r zu wachsen beginnt, darf man natürlich nicht zu finden erwarten. Denn da die Ermüdung des arbeitenden Armes fortwährend zunimmt, fällt es der V-P sehr schwer, den Zeitpunkt anzugeben, da die Empfindung schmerzhaft wird. Bei einer gröfseren Anzahl von Versuchen, die ich hierüber anstellte, erwies es sich aber stets, dafs die Anzeige der schmerzhaften Müdigkeitsempfindung sehr nahe — bald ein wenig früher, bald ein wenig später — an den Punkt in der Reihe der Partialarbeiten fällt, wo R/r wieder zu wachsen anfängt. Welche Verbindung nun zwischen dieser Schmerzempfindung und der veränderten Zunahme der Arbeit stattfindet, vermögen wir hier nicht zu entscheiden; erst wenn wir im Folgenden dahin gelangen, den Einflufs der Bewufstseinszustände auf die Muskelthätigkeit zu untersuchen, werden wir die zur Beantwortung dieser Frage erforderlichen Daten erhalten. Hier interessiert uns die Sache nur, insofern sie die früher aufgestellte Betrachtung völlig bestätigt. Es wurde oben (S. 153) erwähnt, dafs die mittels des Bruches R/r gemessene Unterschiedsempfindlichkeit für Lichtempfindungen ganz ähnliche Schwankungen zeigt wie bei den begrenzten Ergogrammen die Gröfse R/r. Anfangs nimmt R/r mit wachsenden Werten von R ab, darauf beginnt es wieder zuzunehmen. Und der Punkt, wo R/r zu wachsen beginnt, liegt der Erfahrung zufolge

Digitized by Google

da, wo das Auge durch die starken Lichtreize geblendet zu werden anfängt. Die Verhältnisse der Lichtempfindungen scheinen denen der Muskelthätigkeit also ganz analog zu sein. Der veränderte Verlauf der Unterschiedsempfindlichkeit trifft mit dem Eintreten eines neuen Moments, der schmerzhaften Blendung zusammen. Von der Muskelarbeit, von der man sich ohne Schwierigkeit ein gröfseres Material verschaffen kann, sahen wir nun, dafs der an einem bestimmten Punkte hinzutretende Schmerz ein gesetzmäfsiges Abweichen von dem vorher gültigen Gesetze für die Zunahme der Arbeit herbeiführt. Es läfst sich daher vermuten, dafs dasselbe auch mit der Unterschiedsempfindlichkeit der Fall ist. Gerade deshalb sah ich es, wie S. 71—72 erwähnt, für berechtigt an, das Gesetz für die eine Phase der Variationen der Unterschiedsempfindlichkeit zu suchen, ohne Rücksicht darauf, dafs dieses Gesetz nicht für die andere Phase pafst. Denn der Umstand, dafs R/r zu wachsen anfängt, ist zweifellos dadurch bedingt, dafs neue Kräfte hinzutreten, und folglich weder kann noch soll dasselbe Gesetz für den ganzen Verlauf gültig sein. Dies hat sich als für die Muskelarbeit stichhaltig erwiesen, und alles deutet darauf hin, dafs es auch für die analogen Verhältnisse der Unterschiedsempfindlichkeit gilt.

Noch einen Punkt müssen wir untersuchen. Gleich. 51 gilt für alle Ergogramme; aus dieser allein oder in Verbindung mit Gleich. 52 läfst sich die Gröfse der Arbeit berechnen, sobald die Konstanten der Gleichung bekannt sind. Hierbei ist aber der Takt, in welchem die Ergogramme ausgeführt werden, durchaus nicht berücksichtigt. Und doch wissen wir, dafs der Takt einen wesentlichen Einflufs auf die gelieferte Arbeitsmenge hat; je langsamer der Takt ist, um so mehr wird in einer gegebenen Anzahl Partialarbeiten geleistet. Hieraus folgt also, dafs man für die Konstanten der beiden Gleichungen verschiedene, von dem Takte, in welchem die Ergogramme ausgeführt wurden, abhängige Werte finden mufs, oder mit anderen Worten: die Konstanten der Gleichungen müssen Funktionen des Zeitraumes zwischen den successiven Partialarbeiten sein. Es kann nicht schwer fallen, dies nachzuweisen. Man braucht nur unter sonst gleichen Verhältnissen eine Reihe Ergo-

Digitized by Google

gramme in verschiedenem Takte auszuführen; berechnet man aus diesen die Konstanten der Gleich. 51, so müssen dieselben notwendigerweise verschiedene Werte erhalten, da in jedem einzelnen Ergogramme einer gegebenen Gröſse von *R* verschiedene Werte des *A* entsprechen sollen. Das leuchtet so unmittelbar ein, daſs es keines experimentellen Beweises bedarf. Dagegen könnte es natürlich von Interesse sein, zu untersuchen, wie die Konstanten mit dem Takte, mit dem Zwischenraume zwischen den Partialarbeiten variieren. Dies wird indes gröſsere Schwierigkeiten bereiten, denn um die Gesetzmäſsigkeit zu finden, wird es offenbar eine notwendige Bedingung sein, daſs bei der Ausführung der Ergogramme alle Umstände, mit Ausnahme eben des Taktes, die gleichen sind. Sich dessen zu sichern, ist aber kaum möglich, oder besser, wir wissen mit Sicherheit, daſs es nicht thunlich ist. Denn da die verschiedenen Ergogramme nacheinander ausgeführt werden müssen, wird es nicht zu vermeiden sein, daſs die Übung, wenn auch nur ganz wenig, zunimmt, so daſs die Bedingungen also nicht mehr genau dieselben sind. Man könnte sich den Einfluſs der Übung allerdings auf die Weise eliminiert denken, daſs man nach der Ausführung einer Reihe von Ergogrammen dieselben Arbeiten in umgekehrter Reihenfolge wiederholte und darauf das Mittel der beiden in demselben Takte ausgeführten Ergogramme nähme. Hierdurch würde dann aber die Schwierigkeit entstehen, daſs es keineswegs gegeben ist, wie man diese »Mittel« eigentlich berechnen sollte. Zur Vermeidung dieser Schwierigkeit bediente ich mich des Umstands, daſs jede nicht erhaltene Übung sich allmählich verliert. Führt man die zu vergleichenden Ergogramme mit einem Zwischenraume von mehreren Tagen aus, während dessen natürlich keine anderen Ergogramme genommen werden dürfen, so kann man einigermaſsen darauf rechnen, daſs das am einen Tage Gewonnene in der dazwischenliegenden Zeit beinahe verloren geht. Nach diesem Schema wurden die folgenden vier Ergogramme ausgeführt:

Pl. XIX, A. d. $^{19}/_{9}$. 40 pr. Min. *Pl. XIX, B.* d. $^{1}/_{10}$. 10 pr. Min.
Pl. XX, A. d. $^{25}/_{9}$. 80 pr. Min. *Pl. XX, B.* d. $^{27}/_{9}$. 20 pr. Min.

Die Ausmessung dieser vier Ergogramme ist in der Tab. 31 gegeben, wo aufser A und den entsprechenden R zugleich $\frac{R}{r}$ für die beiden begrenzten Ergogramme mitgeteilt ist, damit man sehen kann, bis wieweit Gleich. 51 gilt. Mit Bezug auf die beiden letzten Ergogramme ist nur zu bemerken, dafs ich, um gar zu lange Zahlenreihen zu vermeiden, die Differenz zwischen den successiven Werten von A doppelt so grofs wie gewöhnlich, nämlich 40 cm-K. nahm.

Tab. 31.

80 pr. Min.			40 pr. Min.			20 pr. Min.		10 pr. Min.	
A	R	$\frac{R}{r}$	A	R	$\frac{R}{r}$	A	R	A	R
22,7 *	4		18,4	3		38,3 *	6	38,4 *	6
42,2	8	2,000	35,9 *	6	2,000	78,0	13	79,1	13
63,5	13	1,625	57,6	10	1,667	117,1	21	117,0	20
83,6 *	18	1,385	79,3	14	1,400	157,2	30	155,5	28
102,1	23	1,280	99,8	18	1,285	196,4	40	196,6	37
122,2	29	1,261	119,4	22	1,222	237,2	51	237,7	47
140,8 *	35	1,207	142,2 *	27	1,228	276,8 *	63	278,3	57
160,6	47	1,343	161,9	32	1,185	316,1	76	318,1 *	67
181,1	58	1,234	180,2	37	1,157	356,7	91	359,7	78
200,7	73	1,260	199,9	43	1,162	395,1	108	399,7	89
			220,5	50	1,163	434,6	128	441,1	101
			240,3 *	58	1,160	474,0 *	149	481,7	114
			260,3	69	1,190	512,5	175	521,2	127
			280,2	84	1,217			560,0 *	140
			300,2	105	1,250			601,5	154
			320,1	153	1,457				

Für jedes dieser Ergogramme wurden ferner die Konstanten der Gleich. 51 berechnet, indem in allen vier Gleichungen $q_1 = 4{,}00$ und $y = 4$ gesetzt wurden, welche Werte sich bei den oben ausgeführten Berechnungen als die geeignetsten erwiesen hatten. Wir gelangen hierdurch zu folgenden vier Gleichungen:

80 pr. Min.: $A = 2410 - 463 \log.(R+4) - 4010 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)]$

40 pr. Min.: $A = 2749 - 516 \log.(R+4) - 4607 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)]$

20 pr. Min.: $A = 3269 - 634 \log.(R+4) - 5444 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)]$

10 pr. Min.: $A = 5924 - 1307 \log.(R+4) - 9599 \log.[4{,}00 - \log.(R+4)]$

Die Berechnung der Konstanten wurde auf Grundlage der in der Tab. 31 mit * bezeichneten Werte unternommen. Aus den Gleichungen geht hervor, dafs die Konstanten, wie zu erwarten stand, mit dem Zeitraume

Digitized by Google

zwischen den Partialarbeiten zunehmen; je langsamer der Takt ist, um so gröfser werden alle drei Konstanten. Um nun über das Gesetz, nach welchem die drei Konstanten c_2, q und q_2 zunehmen, einen Überblick erhalten zu können, sind sie in der Tab. 32 zusammengestellt. Zuerst ist der Takt angegeben, darauf, unter F, das Verhältnis zwischen den zeitlichen Zwischenräumen der successiven Partialarbeiten. Diese Zahlen haben indes eine etwas gröfsere Bedeutung, als wenn sie nur Verhältniszahlen wären. Der Takt 80 pr. Min. ist nämlich der schnellste, dessen Anwendung die Erfahrung als möglich erweist, wenn jede einzelne Partialarbeit ihre völlige Gröfse erlangen soll. Arbeitet man noch schneller, so wird es geradezu unmöglich, mit voller Kraft zu arbeiten, man mufs sich überhasten. Dies gilt natürlich nur von der Bewegung, die am hier angewandten Ergographen ausgeführt wird; wäre es z. B. nur ein einzelner Finger, der gebeugt werden sollte, so liefse die Arbeit sich möglicherweise schneller ausführen, und sollte der ganze Arm maximale Kontraktionen unternehmen, so würde dies ganz gewifs längere Zeit beanspruchen. Wie die Verhältnisse aber bei den hier betrachteten Ergogrammen vorlagen, erhält die Gröfse F eine gewisse absolute Bedeutung, nämlich als die Länge des Zeitraumes zwischen den Partialarbeiten, mit dem möglichst kurzen Zeitraum als Einheit gemessen. Offenbar ist es diese Gröfse, als deren Funktion sich unsere Konstanten erweisen müssen.

Tab. 32.

pr. Min.	F	D	q	$\frac{q}{c_2}$	c_2	q_2	$\frac{q_2}{c_2}$	c_2 ber.	f
80	1	25/9	2410	5,205	463	4010	8,661	459	+ 4
40	2	19/9	2749	5,327	516	4607	8,928	500	+ 16
20	4	27/9	3269	5,156	634	5444	8,587	660	— 26
10	8	1/10	5924	4,532	1307	9599	7,620	1302	+ 5

Nach F ist das Datum der Ausführung der einzelnen Ergogramme angegeben, was sich sogleich als nicht ohne Bedeutung zeigen wird. Darauf folgen die Konstanten q, c_2 und q_2, ferner die Brüche q/c_2 und q_2/c_2, die sich als annähernd konstant erweisen. Dafs sie nicht

Digitized by Google

völlig konstant sind, ist zweifelsohne eine Folge der zu- oder abnehmenden Übung, denn die Tabelle zeigt, dafs die beiden Brüche für das zuerst (d. 19/9) ausgeführte Ergogramm am gröfsten sind, und dafs sie darauf gerade in der Ordnung, in welcher die Ergogramme entstanden, abnehmen. Da die Variation keine grofse ist, leidet es wohl keinen Zweifel, dafs wir diese Brüche konstant finden würden, wenn es möglich wäre, den Einflufs der Übung gänzlich zu eliminieren. Setzt man daher $q/c_2 = q_5$ und $q_2/c_2 = q_6$, und werden die faktisch vorkommenden Vorzeichen eingeführt, damit man mit positiven Konstanten rechnen kann, so kann man Gleich. 51 in die Form:

$$A = c_2 \left[q_5 - \log.(R+y) - q_6 \log.[q_1 - \log.(R+y)] \right] \; .. \text{(Gl. 53)}$$

bringen, wo q_5 und q_6 von dem Zeitraume zwischen den Partialarbeiten unabhängig sind. Wir haben folglich nur zu untersuchen, wie c_2 mit diesem Zeitraum variiert. Die Werte von c_2 in der Tab. 32 zeigen nun keine augenfällige Gesetzmäfsigkeit, wir können aber sehr leicht folgern, wie c_2 mit F variieren mufs. Denn die Zeit zwischen den Partialarbeiten kann, wie S. 141—42 erwähnt, nur auf die Weise Einflufs auf die Gröfse der Arbeit erhalten, dafs der Stoffwechsel den Verbrauch mehr oder weniger vollständig ersetzt. Werden nun in einem Falle pr. Min. a, in einem anderen Falle 2a Partialarbeiten ausgeführt, so wird im letzteren Falle der Verbrauch doppelt so grofs als im ersteren, und überdies wird der Stoffwechsel nach jeder Partialarbeit nur halb so lange wirken können. Wird die Anzahl der Partialarbeiten pr. Min. also doppelt so grofs, so kann die durch den Stoffwechsel bewirkte Restitution nur 1/4 werden u. s. w. Mit anderen Worten: die Arbeit mufs mit dem Quadrate des F, des Zeitraumes zwischen den Partialarbeiten, zunehmen. Man mufs daher finden:

$$c_2 = q_7 + q_8 \cdot F^2 \; . \; . \; . \; . \text{(Gleich. 54)}.$$

Werden die wahrscheinlichen Werte von q_7 und q_8 bestimmt, so erhält man:

$$c_2 = 446 + 13.37\, F^2.$$

Setzt man hier successiv die Werte von F ein und berechnet man die entsprechenden Gröfsen für c_2, so bekommt man die unter »ber. c_2« angegebenen Gröfsen.

Digitized by Google

Da die Abweichungen *f* der letzteren von den gefundenen c_2 nicht gröſser sind, als sich unter Berücksichtigung der weniger genauen Weise, wie c_2 bestimmt wurde, erwarten lieſs, so muſs Gleich. 54 als richtig betrachtet werden. Setzt man diesen Ausdruck in Gleich. 53 ein, so erhält man für das Arbeitsgesetz die vollständige Form:

$$A = (q_7 + q_8 \cdot F^2) \left[q_5 - \log.(R + y) - q_6 \log.[q_1 - \log.(R + y)] \right]$$
. . . . (Gleich. 55).

Es wird sich im Folgenden erweisen, daſs diese Formel nicht so gänzlich alles psychologischen Interesses entbehrt, wie es vorläufig scheinen könnte. Bevor wir zur näheren Erwägung dieser mehr theoretischen Frage schreiten, erübrigt es noch, die Bedeutung der Übung für die Muskelthätigkeit in Kürze zu erörtern.

Der Einfluſs der Übung. Im Vorhergehenden konnten wir nicht umhin, an verschiedenen Punkten die Übung zu berücksichtigen, weil diese bei der Untersuchung der Wirkung anderer Faktoren leicht störend hinzutritt. Es könnte deshalb auch als recht natürlich erscheinen, wenn wir damit angefangen hätten, den Einfluſs der Übung zu bestimmen, um denselben, wo er störend eingreift, um so leichter eliminieren zu können. Dies betrachtete ich indes als überflüssig, weil die Bedeutung der Übung für die Muskelthätigkeit aus dem täglichen Leben so wohlbekannt ist, daſs spezielle Untersuchungen hierüber nicht nötig sind. Wir wissen, daſs die Muskeln durch Übung in einer bestimmten Arbeit nicht nur kräftiger werden, so daſs durch eine einzelne maximale Anstrengung eine gröſsere Arbeitsmenge geliefert werden kann, sondern auch, daſs sie zugleich schwieriger ermüden, so daſs die Arbeit längere Zeit hindurch fortgesetzt werden kann. Dies wird durch die zahlreichen, bereits vorliegenden ergographischen Untersuchungen denn auch völlig bestätigt, und bedeutende neue Resultate werden auf diesem Gebiete wohl kaum zu erzielen sein. Die hier vorliegenden Untersuchungen zeigen nun auch, wie zu erwarten stand, weder mehr noch weniger. Nehmen wir, für eine bestimmte V-P, Ergogramme, die zu verschiedenen Zeiten in demselben Takte ausgeführt wurden, so er-

weist es sich, dafs diese bei wachsender Übung sowohl höher als länger werden. Beispielsweise wählen wir drei von A. L. beim Takte 40 pr. Min. ausgeführte Ergogramme, Pl. XVI, B, d. 8/2, Pl. XI, B, d. 21/2, Pl. XIII, C, d. 6/5. Diese sind im Pl. VIII, B wiedergegeben, und die Figur zeigt deutlich, wie die Ergogramme im Laufe der Zeit sowohl an Höhe als Länge bedeutend zunehmen. Z. B. bietet das erste Ergogramm (8/2), wo die Partialarbeiten nicht höher als 4,3 cm-K. reichen und deren ganze Anzahl 70 beträgt, eine nicht unbedeutende Verschiedenheit vom letzten Ergogramme (6/5) dar, das mit einer Arbeit von 6,2 cm-K. anfängt und mehr als 180 Partialarbeiten umfafst.

Bekanntlich genügt es nicht, sich geübt zu haben, man mufs mit dem Üben fortfahren, sonst verliert man die gewonnene Geschicklichkeit wieder. Auch dies geht aus Pl. VIII hervor, wo noch ein viertes, durch die punktierte Linie angegebenes Ergogramm eingezeichnet ist. Letzteres wurde d. 19/9 ausgeführt und ist das erste, das von der genannten V-P geliefert wurde, nachdem die Versuche mehr als 4 Monate hindurch eingestellt gewesen waren. Im Vergleich mit dem Ergogramm vom 6/5 erweist dasselbe sich sowohl weniger hoch als lang; in beiden Richtungen hat also ein Verlust stattgefunden. Man mufs sich »trainiert« haben, um das möglichste leisten zu können.

Neue Erfahrungen hinsichtlich des Einflusses der Übung vermögen unsere Versuche also nicht zu bringen. Dagegen scheinen sie einen nicht unwesentlichen Beitrag zu geben, um verstehen zu können, worauf dieser Einflufs beruht. Bisher war man zu der Ansicht geneigt, die Höhe der Partialarbeiten werde vorzüglich durch den Zustand des Muskels bestimmt, während deren Anzahl wesentlich durch den Zustand des Zentralorganes bedingt sei[1]. Mit Bezug auf ersteren Punkt habe ich nichts zu bemerken. Alle Erfahrungen deuten darauf hin, dafs die Verringerung der Partialarbeiten während der Ermüdung eine periphere Erscheinung ist,

[1] Vgl. die gute Übersicht über die hierhergehörenden Thatsachen in Hoch und Kraepelin: Über die Wirkung der Theebestandteile u. s. w. Kraepelin: Psychologische Arbeiten. I. S. 467 u. f.

Digitized by Google

die der Anhäufung von »Ermüdungsstoffen« im Muskel ihr Entstehen verdankt. Die durch Übung bewirkte Zunahme der Gröfse der Partialarbeiten läfst sich ebenfalls als eine natürliche Folge davon verstehen, dafs der Muskel bei fortwährendem, nicht überanstrengendem Gebrauche wächst. Was dagegen die Bedeutung des Zentralorgans für die Anzahl der Partialarbeiten betrifft, bin ich weniger geneigt, dieselbe als entschieden zu betrachten. Dafs zentrale Erscheinungen hier eine Rolle spielen können, steht aufser Zweifel; die schmerzhafte Ermüdung, die mit dem jähen Abschlufs der begrenzten Ergogramme in Verbindung steht, ist ja jedenfalls eine psychische Erscheinung, die als solche zentrale Vorgänge erfordert. Wir sahen aber im Vorhergehenden, dafs der Stoffwechsel sehr wesentlichen Einflufs auf die Anzahl der Partialarbeiten übt. Je langsamer der Takt ist, in welchem gearbeitet wird, um so weniger sinken die Partialarbeiten, und um so länger wird die Thätigkeit fortgesetzt werden können, bis die Partialarbeiten, praktisch genommen, den Wert Null erhalten. Also je länger der Stoffwechsel wirken kann, um so mehr nimmt die Anzahl der Partialarbeiten zu, und bei künstlicher Hemmung des Stoffwechsels nimmt deren Anzahl stark ab. Es leuchtet daher ein, dafs eine Zunahme sich ebenfalls erreichen liefse, wenn der Stoffwechsel auf irgend eine Art lebhafter würde, so dafs sich während einer gegebenen Zeit eine völlige Wiederherstellung erzeugen liefse. Gerade dies wird aber zweifelsohne durch fortwährende Übung erzielt. Ein arbeitender Muskel wird, wie wir wissen, besser ernährt als ein ruhender; der Blutzuflufs ist stärker, die Gefäfse sind beträchtlich erweitert. Wird nun dieselbe Arbeit unablässig geübt, so scheint die Erweiterung der Gefäfse zum Teil andauernd zu werden; hierauf deutet wenigstens die Geschwindigkeit hin, mit welcher eine bisher nicht viel benutzte Muskelgruppe anschwellen kann, wenn sie in stetige Thätigkeit kommt. Die gröfsere Weite der Gefäfse bewirkt die Möglichkeit besserer Ernährung, die dann wieder zur Folge hat, dafs der Muskel weniger schnell ermüdet, d. h., dafs die Anzahl der Partialarbeiten zunimmt. Diese rein peripherische Ursache, weshalb die Länge der Ergo-

Digitized by Google

gramme mit der Übung wächst, scheint mir jedenfalls ebenso wohlbegründet als die gewöhnlich angenommene zentrale, selbst wenn man natürlich nicht geradezu bestreiten kann, daſs auch die Arbeitsfähigkeit der motorischen Zentren durch Übung entwickelt wird.

DIE PHYSIOLOGISCHE BEDEUTUNG DER MASSFORMEL.

Unsere Untersuchungen haben jetzt einen Punkt erreicht, an welchem die Frage sich von selbst einstellt: was bedeuten alle diese Formeln? Empirisch festgestellte Formeln können allerdings an und für sich Wert besitzen, insofern nämlich jemand Interesse daran haben möchte, die Erscheinungen oder Verhältnisse, für die sie gültig sind, zu berechnen. Derartiges praktisches Interesse werden unsere Formeln aber wohl schwerlich jemals erregen; ihre Bedeutung ist ausschlieſslich theoretischer Natur. Wert besitzen sie nur, insofern wir aus ihnen zu folgern vermögen, was das für Kräfte sind, die thätig waren. Deshalb erhebt sich die unabweisbare Frage: was bedeuten diese Formeln, für welche physischen, physiologischen oder psychischen Prozesse sind die gefundenen Quantitätsrelationen gültig?

Alle unsere Formeln sind, wie wir sahen, einer gemeinschaftlichen Wurzel entsprossen, lassen sich auf eine und dieselbe Grundform zurückführen, auf die »korrigierte Maſsformel«:

$$E = c_1 \cdot D_m = c_2 \log. \left[\frac{R}{R_0} (a - a_1 \log. R)\right] \quad . \; . \; . \; . \; \text{(Gleich. 40).}$$

Zu dieser Gleichung gelangten wir, indem wir auf theoretischem Wege einen Ausdruck für die Gröſse der photochemischen Wirkung suchten, welche Licht von gegebener Intensität R in der Netzhaut hervorzubringen vermag; D_m in Gleich. 40 bezeichnet gerade die maximale Tiefe, bis zu der diese Wirkung eindringen kann. Hierauf nahmen wir an, daſs die hervorgerufene

Digitized by Google

Empfindung *E* der maximalen Tiefe der photochemischen Wirkung proportional sei. Von dieser Voraussetzung aus waren wir im stande, einen Ausdruck für das Verhältnis zwischen zwei Reizen zu berechnen, die einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied hervorrufen. Bei dieser Berechnung war natürlich der Kontrast und der wahrscheinliche Einflufs gleichzeitiger Reize auf den Stoffwechsel zu berücksichtigen; indem wir aber diese Rücksichten nahmen, gelangten wir gerade zu dem auf einem ganz anderen Wege empirisch gefundenen »Unterscheidungsgesetze«. Mithin schien also die Voraussetzung: die Empfindung ist der Tiefe der photochemischen Wirkung proportional, berechtigt zu sein. Die Möglichkeit läfst sich aber offenbar nicht ausschliefsen, dafs das richtige Ergebnis auf einem Zufall beruhen könnte; es wäre sehr wohl denkbar, dafs es einen anderen physiologischen Prozefs gäbe, der ebenso wie die photochemische Wirkung durch log. *R* bestimmt wäre, und dafs die Empfindung eben diesem anderen, unbekannten Prozesse proportional anwüchse. In einem solchen Falle mufs man ganz gewifs zu dem richtigen quantitativen Ausdruck gelangen, selbst wenn man von der falschen Annahme ausgeht.

Ganz unwahrscheinlich ist es jedoch nicht, dafs der Nervenprozefs von der Tiefe der photochemischen Wirkung abhängig wäre. Jedenfalls ist es eine bekannte Sache, dafs in dem durch einen konstanten elektrischen Strom gereizten Nerv die Wirkung innerhalb gewisser Grenzen mit der Länge der zwischen den Elektroden liegenden Strecke des Nervs zunimmt. Dieser Thatsache scheint unsere Annahme ganz analog zu sein. Je tiefer die durch das Licht verursachte chemische Umbildung in die empfindlichen Elemente der Netzhaut eindringt, um so gröfser mufs, wie anzunehmen, die ausgelöste Nerventhätigkeit werden, und mit dieser ist wieder der Energieumsatz im Zentralorgan und somit die Empfindung proportional. Die Annahme einer Proportionalität zwischen der Empfindung und der Tiefe der photochemischen Wirkung ist also keineswegs ganz unbegründet; wie wir sehen, kann sie sich auf eine analoge, experimentell festgestellte Thatsache stützen.

Hieraus folgt indes noch nicht, dafs die Annahme

Digitized by Google

richtig ist. Aus der »Mafsformel« leiteten wir nicht nur das Unterscheidungsgesetz für Lichtempfindungen ab, sondern auch das entsprechende Gesetz für Schallempfindungen. Letzteres wird etwas weniger kompliziert als ersteres, teils weil successive Schallreize keine Kontrastwirkung hervorrufen, und teils weil der Stoffverbrauch bei adäquater Reizung des Nervus acusticus der Erfahrung nach ein so geringer ist, dafs man den Einflufs des Stoffwechsels auf den Nervenprozefs nicht mit in Anschlag zu bringen braucht. Das Grundverhältnis zwischen dem Reize und dem hervorgerufenen psychophysiologischen Prozesse ist aber für beide Sinnesgebiete dasselbe. Da nun die Reizung des Hörnervs durch keine photochemischen Wirkungen bedingt ist, mufs es offenbar einen anderen physiologischen Prozefs geben, der ebenfalls in logarithmischem Abhängigkeitsverhältnisse zum Reize steht. Auf Grundlage unserer gegenwärtigen Kenntnis von dem Bau der Nerven und der Natur der nervösen Prozesse scheint die Erklärung dessen, was hier vorgeht, denn auch nicht schwer zu sein.

Alles deutet darauf hin, dafs die durch Reizung eines Nervs hervorgerufene Thätigkeit elektrolytischer Natur ist. Von direkter Leitung eines elektrischen Stromes kann in einer halbflüssigen, nicht isolierten, aus leicht spaltbaren chemischen Stoffen bestehenden Masse wohl kaum die Rede sein. Die geringe Geschwindigkeit des »Nervenstroms« schliefst ebenfalls die Möglichkeit einer elektrischen Leitung derselben Art wie die eines metallischen Leiters aus. Die Bewegung im Nerv ist deshalb als eine von Strecke zu Strecke fortschreitende elektrolytische Umlagerung der Ionen aufzufassen. In einem durchaus gleichförmigen Elektrolyt wird eine solche Bewegung nicht zu stande kommen können; zwischen zwei sich berührenden Stellen ist ein Unterschied der Konzentration erforderlich. Wird dieser hergestellt, so entsteht hierdurch ein elektrischer Potentialunterschied, der nach Zustandekommen des Stromes Energie aus der Stelle mit höherer nach der Stelle mit niedrigerer Konzentration führen wird, bis der Unterschied der Konzentration aufgehoben ist. Von der Gröfse der auf diese Weise entstandenen elektromotorischen

Digitized by Google

Kraft wissen wir, dafs sie dem log. $(C c)$ proportional ist, indem C und c die Konzentration der beiden Stellen oder die hierdurch bestimmten osmotischen Drucke bezeichnen[1]. Von diesen Thatsachen aus scheint der Nervenprozefs sich ohne Schwierigkeit erklären zu lassen. Die Reizung eines peripheren Nervenendes spaltet die chemischen Verbindungen im Nerv; es entsteht hierdurch ein Konzentrationsunterschied zwischen der erregten Stelle und der unmittelbar anstofsenden Strecke, der einen Potentialunterschied herbeiführt. In einem leitenden Organ wie einem Nerv wird dieser Unterschied schwerlich ohne Ausladung der Elektrizität bestehen können, und es entsteht mithin ein elektrolytischer Strom. Die elektrische Ausladung geschieht wahrscheinlich eben zwischen den beiden Punkten, die einen Potentialunterschied bekommen haben. Die unter dem Namen des Elektrotonus bekannte Erscheinung, die sich an einem unorganischen Elektrolyte mit verschiedener Leitungsfähigkeit des Kerns und der Peripherie völlig nachahmen läfst[2], zeigt uns nämlich, dafs in einer Strecke eines Nervs gleichzeitig Ströme in entgegengesetzter Richtung verlaufen können. Folglich verwehrt uns nichts, in einem Nerv einen geschlossenen Stromkreis zwischen zwei aneinandergrenzenden Stellen anzunehmen, die einen Potentialunterschied haben. Wegen des elektrolytischen Stroms wird aber notwendigerweise die Konzentration an der zweiten Stelle vermindert, so dafs nun zwischen dieser und der dritten, näher am Zentrum gelegenen Stelle ein Potentialunterschied entsteht, u. s. w. Auf diese Weise mufs die Bewegung sich aus der erregten Stelle durch die ganze Nervenleitung hindurch bis ins Zentralorgan fortpflanzen. Und die Stärke dieses elektrolytischen Stromes wird offenbar durch den Potentialunterschied zwischen dem Zentralorgan und der erregten peripheren Stelle bestimmt werden, also von den Konzentrationen der bei-

---

[1] Ostwald: Grundrifs der allgemeinen Chemie. 3. Aufl. Leipzig 1899. S. 442 u. f. Nernst: Theoretische Chemie. 2. Aufl. Stuttgart 1898. S. 659 u. f.

[2] Gruenhagen: Lehrbuch der Physiologie. 7. Aufl. Hamburg 1885. Bd. I. S. 557 u. f.

Digitized by Google

den Punkte abhängig sein. Die Konzentration C im Zentralorgane kann als Konstante betrachtet werden, wegen der dort angehäuften Massen chemischer Energie. Die Konzentration c der erregten Nervenfaser wird selbstverständlich von dem Reize R abhängig, denn je stärker dieser ist, um so mehr Stoff wird in der Nervenfaser gespalten, und somit sinkt c. Ist c aber dem R umgekehrt proportional, so folgt hieraus also, dafs der Potentialunterschied zwischen dem Zentralorgan und der erregten Nervenfaser dem $\log. C \cdot R$ proportional wird. Die Stromstärke im Nerv und somit die im Zentralorgane hervorgerufene Bewegung werden also von $\log. R$ abhängig. Nimmt man nun an, dafs die Empfindung der im Zentralorgan ausgelösten Bewegung proportional ist, so wird die Empfindung in logarithmischem Abhängigkeitsverhältnisse zum Reize stehen müssen.

Hiermit sind wir indes noch nicht fertig. Wie das Verhältnis hier dargestellt wurde, wird es nur in einer von der Verbindung mit dem Organismus getrennten Nervenfaser stattfinden. Der normal funktionierende Nerv dagegen wird während seiner Thätigkeit genährt[1]. Durch den Stoffwechsel ändert sich offenbar die Konzentration des Stoffes im arbeitenden Nerv, weil die gebildeten Spaltungsprodukte entfernt werden und neuer Stoff sich einlagert. Welchen Einflufs dieser doppelte Prozefs auf die Konzentration und somit auf den Potentialunterschied im Nerv hat, läfst sich natürlich nicht ganz im allgemeinen entscheiden; es gibt die Möglichkeit sowohl einer Vergröfserung als einer Verminderung des Potentialunterschieds. Diese durch den Stoffwechsel bewirkte Veränderung des Potentialunterschieds kann aber nicht selbst als eine konstante Gröfse betrachtet werden. Wir wissen nämlich, dafs der Stoffwechsel in einem arbeitenden Organ gewöhnlich um so lebhafter vorgeht, je kräftiger das Organ arbeitet, und es ist wohl keine gar zu gewagte Annahme, dafs dies auch in einem arbeitenden Nerv stattfindet. Welches Gesetz diese Vergröfserung des Stoffwechsels befolgt, das

[1] Lenhossek: Der feinere Bau des Nervensystems. Berlin 1895. S. 109 u. f.

wissen wir einstweilen nicht, da die Thätigkeit des Nervs aber von der Stärke des Reizes abhängig ist, so mufs auch der mit der Thätigkeit anwachsende Stoffwechsel eine Funktion des Reizes sein. Wegen des Stoffwechsels wird der Potentialunterschied zwischen dem Zentralorgan und der erregten Nervenfaser also gewöhnlich nicht dem log. R proportional sein, sondern entweder geschwinder oder langsamer zunehmen. Diese durch den Stoffwechsel bedingte Abweichung ist indes, wie wir sahen, selbst eine Funktion von R; wir können also den Potentialunterschied proportional dem log. $[R \cdot \varphi(R)]$ setzen. Hier mufs $\varphi(R)$ so beschaffen sein, dafs die Gröfse je nach den Umständen mit wachsenden Werten von R ab- oder zunimmt. Gerade dies wird aber der Fall sein, sofern $\varphi(R) = a - a_1$ log. R, was die Funktion ist, die wir empirisch als Ausdruck für den Einflufs des Stoffwechsels fanden. Ist a_1 positiv, so sieht man, dafs $\varphi(R)$ mit wachsenden Werten von R abnimmt; ist a_1 dagegen negativ, so wird $\varphi(R)$ mit R wachsen. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dafs es natürlich viele andere Funktionen von R geben kann, die je nach den Vorzeichen der vorkommenden Konstanten mit R zu- oder abnehmen werden; da die angeführte Funktion aber nicht nur unsere theoretischen Forderungen erfüllt, sondern sich auch zugleich als mit den Erfahrungen übereinstimmend erweist, liegt ja aller mögliche Grund vor, mit derselben zu rechnen. Unter Rücksichtnahme auf den Stoffwechsel erweist es sich also, dafs der Potentialunterschied zwischen den beiden Nervenenden dem log. $[R \cdot (a - a_1$ log. $R)]$ proportional ist. Mit anderen Worten: es zeigt sich, dafs die Mafsformel ein Ausdruck für die elektromotorische Kraft ist, die die Stärke des Nervenprozesses und somit die im Zentralorgane hervorgerufene Veränderung bestimmt. Nehmen wir nun an, dafs die Empfindung derselben proportional ist, so folgen unsere Unterscheidungsgesetze mit logischer Notwendigkeit hieraus, und wir haben mithin deren rein physiologische Erklärung gewonnen.

Die hier durchgeführte Auslegung der Mafsformel ist von der Natur des Sinnesorganes unabhängig, indem sie sich ausschliefslich auf die allgemeinen physiolo-

Digitized by Google

gischen Verhältnisse der Nerven stützt und von speziellen Eigentümlichkeiten irgend eines Sinnesorgans keinen Gebrauch macht. Es scheint denn auch kein Grund für die Annahme vorzuliegen, daſs die Sache sich auf verschiedenen Sinnesgebieten verschieden verhalten sollte. Wir können also mit Bezug auf das Auge dieselbe Erklärung festhalten, die sich hinsichtlich aller anderen Sinnesorgane wird durchführen lassen, nämlich daſs es die dem Reize proportionale Menge zerteilter Verbindungen in den peripheren Nervenfasern ist, die für die Stärke des Nervenstroms und somit für den Energieumsatz im Zentralorgane bestimmend wird. Es ist nun auch leicht zu sehen, daſs zwischen dieser Auffassung und der früheren Ansicht, nach welcher die Tiefe der photochemischen Wirkung in der Netzhaut für den ausgelösten Nervenprozeſs bestimmend sein sollte, kein Mangel an Übereinstimmung ist. Denn mit der Menge des zersetzten Stoffes nimmt natürlich auch das Eindringen der Wirkung in die Tiefe zu, und da sowohl die Tiefe der Wirkung als die Stärke des ausgelösten Stroms von der Menge des zersetzten Stoffes logarithmisch abhängig ist, wird es ganz gleichgültig, welche dieser Gröſsen man zum Ausgangspunkte wählt. Unsere beiden anscheinend verschiedenen Erklärungen sind in der That also nur verschiedene Ausdrücke für eine und dieselbe Sache. Als Resultat dieser Betrachtungen können wir also feststellen:

Das durch die »Maſsformel« ausgedrückte Abhängigkeitsverhältnis zwischen Empfindung und Reiz hat rein physiologische Bedeutung, indem die Formel unmittelbar nur die Gröſse des Potentialunterschieds angibt, der zwischen dem Zentralorgan und der durch einen gegebenen Reiz erregten peripheren Nervenfaser entsteht. Diesem Potentialunterschiede wird die im Zentralorgan umgesetzte Energiemenge proportional. Die Annahme ist indes berechtigt, daſs die Empfindung dieser umgesetzten Energiemenge proportional ist, denn indem die Maſsformel hierdurch einen Ausdruck für die Abhängigkeit der Empfindung von dem Reize gibt,

Digitized by Google

kann man hieraus die auf verschiedenen Sinnesgebieten empirisch gültigen Unterscheidungsgesetze ableiten.

Wir schreiten nun zur Untersuchung der Bedeutung der Mafsformel für die Muskelarbeit. Im Vorhergehenden sahen wir, dafs wir nur nötig haben, in der Gleich. 40 statt E die Arbeitsmenge A zu setzen; die Formel wird dann der Ausdruck für die Gröfse der verrichteten Arbeit, indem zugleich R die Anzahl der Partialarbeiten bezeichnen wird. Dafs eine solche Übereinstimmung zwischen zwei ganz verschiedenen Gebieten kein Zufall sein kann, ist einleuchtend; sie mufs notwendigerweise auf gewissen gemeinschaftlichen Eigentümlichkeiten der arbeitenden Organe beruhen. Es ist ferner klar, dafs das »Arbeitsgesetz«, d. h. die Mafsformel als Ausdruck für die Gröfse der Arbeit, ein rein physiologisches Gesetz sein mufs, da es ausschliefslich die Abhängigkeit der Arbeit von der Anzahl der Partialarbeiten betrifft. Die psychische Anspannung, die Stärke der Innervation, kommt in der Formel gar nicht vor; diese hat offenbar mit psychischen Erscheinungen gar nichts zu thun. Da dasselbe Gesetz sich nun auch auf dem Gebiete der sinnlichen Wahrnehmung als gültig erweist, kann es wohl kaum bezweifelt werden, dafs es auch hier der Ausdruck für ein physiologisches Verhältnis ist. Die Übereinstimmung zwischen zwei so äufserst verschiedenen Gebieten dient daher als Beweis, dafs wir recht hatten, wenn wir unseren Unterscheidungsgesetzen eine rein physiologische Auslegung gaben.

Suchen wir nun zu einem Verständnisse der Bedeutung des Arbeitsgesetzes zu gelangen, so zeigt es sich sogleich, dafs dieses mehr als eine Deutung zuläfst. Weshalb werden die successiven Partialarbeiten nicht gleichgrofs? Das rührt von der Ermüdung her, diese kann ihren Sitz aber entweder im Zentralorgane haben, so dafs die successiven Muskelinnervationen abnehmen, oder auch im Muskel, so dafs dessen Kontraktionen immer mehr abnehmen, obgleich die Innervationen gleichgrofs sind. Endlich läfst es sich auch denken, dafs sowohl das Zentralorgan als der Muskel ermüdete, so dafs die abnehmende Gröfse der Partialarbeiten eine Wirkung dieser beiden vereinten Ursachen wäre. Eine

Digitized by Google

wahrscheinliche Erklärung des Arbeitsgesetzes erfordert vor allen Dingen, dafs wir darüber im reinen sind, wo wir die Ursache des im Gesetze gegebenen Verhältnisses zwischen der Arbeitsmenge und der Anzahl der Partialarbeiten zu suchen haben.

Gröfsere Schwierigkeit kann dieses Problem uns indes nicht bereiten. Alle Erfahrungen deuten darauf hin, dafs das Zentralorgan nicht ermüden kann, wenigstens nicht bei derartiger Arbeit. Die maximalen motorischen Innervationen werden deshalb gleichgrofs. Dagegen wird der grofse Stoffverbrauch im Muskel, den der gleichzeitig vorgehende Stoffwechsel nicht zu kompensieren vermag, zur Folge haben, dafs sich »Ermüdungsstoffe« anhäufen, welche die Arbeit des Muskels hemmen. Bei fortgesetzter Thätigkeit nimmt deshalb die vom Muskel geleistete Arbeit immer mehr ab, obschon die Innervationen konstante Gröfse haben. Wir haben keinen besonderen Anlafs, uns näher auf die zahlreichen und verschiedenartigen Erfahrungen einzulassen, welche diese Auffassung des Einflusses der Ermüdung auf die Muskelarbeit herbeigeführt haben; eine gewifs vollständige Übersicht über die hierher gehörenden Beobachtungen und Versuche gab G. E. Müller[1]. Der Genauigkeit halber mufs jedoch sogleich bemerkt werden, wie diese Auffassung, dafs die durch Ermüdung bewirkte Verminderung der Arbeit von einer im Muskel thätigen Ursache herrührt, sich nur so lange behaupten läfst, bis eine schmerzhafte Empfindung der Ermüdung hervorgerufen wird. Die von diesem Augenblick an eintretende fernere Verminderung der Arbeitszuwächse (vgl. Gleich. 52) rührt nachweisbar von einer zentral wirkenden Ursache her. Da wir dieses Verhältnis aber erst an einem späteren Punkte unserer Untersuchungen genau erklären können, sehen wir vorläufig ganz hiervon ab und berücksichtigen nur diejenige Form des Arbeitsgesetzes, welche für die unbegrenzten und den ersten Teil der begrenzten Ergogramme gültig ist. Es ist also Gleich. 55:

$$A = (q_7 + q_8 \cdot F^2)\Big[q_5 - \log.(R+y) - q_6 \log.[q_1 - \log.(R+y)]\Big]$$

[1] Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. 14. S. 46 u. f.

Digitized by Google

deren Bedeutung wir hier zum Gegenstand unserer Untersuchung machen, und von der wir dem Obigen zufolge annehmen dürfen, dafs sie ein Ausdruck für die nur im Muskel thätigen Kräfte ist.

Gleich. 55 ist zum Teil, wie wir wissen, nur eine Umschreibung der Mafsformel, die wir aus praktischen Gründen zu unternehmen gezwungen waren, um es überhaupt zu ermöglichen, die Gültigkeit des Gesetzes für die vorliegenden Messungen zu prüfen, zum Teil aber auch eine Erweiterung. Um die remanente Ermüdung bei der Berechnung mitnehmen zu können, erwies es sich als notwendig, den Addenden y einzuführen: ferner kommt in der Gleich. 55 der Faktor $(q_7 + q_8 \cdot F^2)$ vor, dessen Bedeutung ebenfalls schon früher völlig erklärt wurde. Wir sahen (S. 175), dafs die verrichtete Arbeit um so gröfser wird, je längere Zeit der Muskel zur Ruhe zwischen den einzelnen Partialarbeiten erhält. Dies ist eine Folge des Stoffwechsels, der den Verbrauch um so besser kompensiert, je länger er zu wirken vermag, bis eine neue Arbeit neuen Verbrauch erfordert. Von dieser Voraussetzung aus fanden wir, dafs die Arbeit mit dem Quadrate der Zeit wachsen müsse, was sich als mit der Erfahrung übereinstimmend erwies und deshalb als der Faktor $q_7 + q_8 \cdot F^2$ in die Formel aufgenommen wurde. Für einen gegebenen Takt, also für einen konstanten Wert von F, wird $q_7 + q_8 \cdot F^2 = c_2$, so dafs dieses Glied hinsichtlich jedes gegebenen Ergogrammes nur als konstanter Faktor auftritt, von dem wir folglich durchaus absehen können. Zurück bleibt also nur der Ausdruck:

$$q_5 - \log. R - q_6 \log. (q_1 - \log. R) = q_5 - \log. [R \cdot (q_1 - \log. R)^{q_6}],$$

um dessen Erklärung es sich handelt.

Indem ich es nun versuche, diese Aufgabe zu lösen, mufs ich doch sofort gestehen, dafs ich mich nicht imstande sehe, eine so durchgeführte Erklärung zu liefern, wie die oben von der Bedeutung der Mafsformel auf dem Gebiete der sinnlichen Wahrnehmung gegebene. Während die Natur der Nerventhätigkeit schon so gut aufgeklärt zu sein scheint, dafs wir ohne besondere hypothetische Annahmen die Mafsformel aus bekannten

Digitized by Google

physischen und physiologischen Thatsachen abzuleiten vermochten, ist die Art und Weise, wie die kontraktile Muskelsubstanz ihre eigentümlichen Wirkungen hervorbringt, an vielen wesentlichen Punkten noch ganz unaufgeklärt. Eine völlig befriedigende Auseinandersetzung zu geben bin ich deshalb nicht im stande; ich kann nur andeuten, wie ich mir die Sache denke.

Wegen der grofsen Übereinstimmung der elektrischen Verhältnisse des Muskels mit denen des Nervs haben wir Grund, zu vermuten, dafs in beiden diesen Organen durch Erregungen gleichartige Wirkungen hervorgerufen werden, von den dem Muskel eigentümlichen Kontraktionen natürlich abgesehen. Wird der Muskel durch seinen motorischen Nerv gereizt, so findet eine Veränderung des Gewebes statt, und die gereizte Stelle wird im Verhältnisse zu den nichtangegriffenen Stellen negativ elektrisch. Diese Thatsache zeigt, dafs also auch durch Reizungen des Muskels ein Potentialunterschied hervorgerufen wird, der ohne Zweifel die Bedingung für die Kontraktion des Muskels ist. Bei maximaler Innervation erreicht dieser Potentialunterschied eine durch den log. $(C c)$ bestimmte Gröfse, indem c und C ebenso wie beim Nerv die osmotischen Drucke an dem gereizten Punkte des Muskels und in der übrigen Muskelmasse bezeichnen. Von dem Stoffwechsel und von allen anderen Faktoren, die auf den Potentialunterschied im Muskel Einflufs haben mögen, sehen wir nun einstweilen ab. Jede Wiederholung der maximalen Innervation des Muskels wird alsdann denselben Stoffumsatz in der erregten Stelle des Muskels herbeiführen, und nach R Innervationen mufs der osmotische Druck folglich hier bis auf $c R$ gesunken sein. Hierdurch wird der Potentialunterschied im Muskel bis log. $(R C c)$ angewachsen sein, oder mit anderen Worten: der Potentialunterschied wächst logarithmisch mit der Anzahl der Innervationen. Der fortwährenden Vergröfserung des Potentialunterschieds wirkt nun der Stoffwechsel entgegen, dessen Einflufs ebenso wie beim Nerv mit R wachsen mufs. Die Folge hiervon wird, dafs der Potentialunterschied langsamer zunimmt als log. R; wird stets die Analogie mit dem Nerv festgehalten, so läfst sich annehmen, dafs er einer Gröfse von der Form:

Digitized by Google

$$\log.\left[\frac{R\,C}{c}\,(q_1 - \log. R)\right]$$

proportional ist.

Nun kommt indes ein ganz anderer Umstand in Betracht, dem nichts Ähnliches beim Nerv entspricht, der aber beim Muskel weitaus den gröfsten Einflufs zeigt. Durch Reizung eines Sinnesnervs wird im Gehirn ein Energieumsatz hervorgerufen, dieser mag aber im Verhältnis zur grofsen potentiellen Energie des Gehirns als verschwindend klein betrachtet werden. Deshalb konnten wir im Ausdrucke für den Potentialunterschied des Nervs C als eine konstante Gröfse betrachten, und der Potentialunterschied erwies sich also als nur von R abhängig. Beim Muskel verhält es sich ganz anders. Der maximal erregte Muskel verrichtet eine bedeutende mechanische Arbeit, die nur auf Kosten der potentiellen Energie des Muskels geleistet werden kann. Es geht also ein Stoffumsatz vor, weshalb C abnehmen mufs; nach welchem Gesetze dies aber geschieht, läfst sich vorläufig wohl unmöglich angeben. Das Verhältnis mufs ein ziemlich kompliziertes sein, weil die Verminderung von C nicht direkt von der Anzahl der Muskelkontraktionen, sondern von der hierdurch geleisteten Arbeit abhängig ist, die für die successiven Kontraktionen nicht die gleiche Gröfse hat. Hierzu kommt ferner, dafs auch der Stoffwechsel auf C Einflufs erhält, indem die Ablagerung neuen Stoffes diese Gröfse vermehren mufs. Alle diese Faktoren in die Berechnung aufzunehmen, ist offenbar ganz unmöglich; einstweilen können wir weiter nichts über die Sache sagen, als dafs unser empirisch gefundenes Arbeitsgesetz darauf hindeutet, dafs der Potentialunterschied nach einer Anzahl von R Kontraktionen dem $\log. [R \cdot (q_1 - \log. R)^{q_2}]$ proportional ist. Es erweist sich nun empirisch, dafs diese Gröfse für alle Ergogramme abnimmt, wenn R wächst. Hieraus geht also hervor, dafs die potentielle Energie des Muskels, die wegen der verrichteten mechanischen Arbeit stets abnimmt, den wesentlichsten Einflufs darauf übt, wie grofs der Potentialunterschied des Muskels bei einer neuen Innervation werden kann. Der der Gröfse $\log. [R \cdot (q_1 - \log. R)^{q_2}]$ proportionale Potentialunterschied wird also zunächst das Mafs für die im Muskel übrig-

Digitized by Google

bleibende potentielle Energie. Folglich mufs die zur Verrichtung der mechanischen Arbeit verbrauchte Energiemenge die ursprüngliche, konstante Energie des Muskels minus der übrigbleibenden Energiemenge werden. Als Ausdruck für die verrichtete Arbeit erhält man also eine Gröfse von der Form:

$$A = c_2 \left[q_6 - \log. [R \cdot (q_1 - \log. R)^{q_6}] \right].$$

Dies ist aber gerade das Arbeitsgesetz, das in der That also nur besagt: die verrichtete Arbeit ist proportional dem Verluste des Muskels an potentieller Energie. Die Richtigkeit dieses Satzes läfst sich schwerlich bestreiten. Ebenfalls ist es verständlich, dafs man die verrichtete Arbeit nicht ohne weiteres gleich der Energieverminderung setzen kann, was seinen Grund natürlich darin findet, dafs der Muskel ebensowenig wie irgend eine andere Maschine vollen Nutzeffekt zu geben im stande ist; ein Teil der umgesetzten Energie geht ganz gewifs in der Form von Wärme, durch Überwindung verschiedener Hindernisse u. s. w. verloren.

Enthält diese Darstellung nun auch nicht so wenig Hypothetisches, so verbürgt uns anderseits das unbestreitbare Resultat, zu dem unsere Betrachtungen uns führten, dafs wir uns nicht weit von der Wahrheit entfernt haben können. Selbst wenn es uns also aus guten Gründen nicht gelungen ist, die im arbeitenden Muskel verlaufenden Prozesse genau auseinanderzusetzen, können wir doch folgendes feststellen:

Das Arbeitsgesetz, welches das Verhältnis zwischen der Anzahl der Partialarbeiten und der Gröfse der hierdurch verrichteten Arbeit angibt, ist nur eine spezielle Form für das Gesetz von der Erhaltung der Energie, indem es aussagt, dafs die verrichtete Arbeit dem Verlust des Muskels an potentieller Energie proportional ist.

Digitized by Google

DER EINFLUSS DER BEWUSSTSEINS-ZUSTÄNDE AUF DIE MUSKELARBEIT.

Psychische Zustände und Thätigkeiten. Unsere vorhergehenden Untersuchungen bewogen uns zu einer, wie es scheint, wohlbegründeten Auffassung des Verhältnisses zwischen den psychischen Zuständen und den körperlichen Veränderungen, an welche dieselben unmittelbar gebunden sind: es ist anzunehmen, daſs die Empfindung der im Zentralorgan umgesetzten Energiemenge proportional ist. Unter dieser Voraussetzung muſs es, wie in der Einleitung nachgewiesen, möglich sein, auch für solche Bewuſstseinserscheinungen, die nicht durch Sinnesreize hervorgerufen werden, die physischen Äquivalente zu bestimmen, wenn anders die seiner Zeit von Loeb und Féré angestellten Versuche nicht durchaus miſsweisend sind. Wir kommen nun zu dem eigentlichen Kern, dem Hauptpunkt unserer Untersuchungen: zu einer weiteren und genaueren Durchführung der genannten Versuche, um hierdurch zu brauchbaren quantitativen Bestimmungen zu gelangen. Es läſst sich nämlich durchaus nicht behaupten, daſs dies durch die bis jetzt vorliegenden, zerstreuten und ziemlich zweifelhaften Versuche erreicht wäre.

Bevor wir indes zur experimentellen Lösung der Aufgabe schreiten, wird es zweckmäſsig sein, zu erwägen, in welchem Umfange dieselbe sich wahrscheinlich lösen läſst. Verschiedene fruchtlose Bemühungen können möglicherweise erspart werden, wenn man von vornherein damit im reinen ist, in welchen Fällen positive Resultate zu erreichen sind und in welchen nicht. Es leuchtet nun ein, daſs nur dann die Rede davon sein kann, für eine psychische Erscheinung ein physisches Maſs zu finden, wenn sie überhaupt mit dem Energieumsatze im Gehirn in Verbindung steht, mit demselben verknüpft ist. Alle »transcendenten« psychischen Kräfte und Thätigkeiten, alle dergleichen psychischen Erscheinungen, die gar nicht von materiellen Bedingungen abhängig sind, müssen der Natur der Sache zufolge jedem Versuche, für sie ein physisches Maſs zu finden, Trotz

Digitized by Google

bieten. Es wird also ganz praktisch sein, wenn wir vorher zu entscheiden suchen, welche psychischen Erscheinungen wahrscheinlich dieser Art sind.

Diese Frage wurde in einer gediegenen Abhandlung: »Psychische Arbeit« von Höfler eingehend behandelt[1]. Allerdings hat die Abhandlung ihre Bedeutung wesentlich in der Konsequenz, mit welcher der Verfasser eine, meiner Ansicht nach, grundfalsche Auffassung durchgeführt hat, da Höfler mit dieser Auffassung aber gewifs nicht allein steht, müssen wir uns mit derselben abfinden, und diese Arbeit wird freilich durch die konsequente Durchführung sehr erleichtert. Der Verf. weist erst nach, dafs der Ausdruck »psychische Arbeit« nicht schlecht und recht eine aus der physischen Welt entlehnte Redensart ist, dafs man dagegen die psychische Arbeit mit gutem Recht als der körperlichen parallel betrachten kann. Wie die Gröfse der körperlichen Arbeit durch das Produkt des Widerstands und des Weges, längs dessen der Widerstand überwunden wurde, gemessen wird, so wird dasselbe mit der psychischen Arbeit der Fall sein. Bei der Addition von Zahlenreihen z. B. bezweifelt niemand, dafs die Arbeit um so gröfser wird, je länger die Zahlenreihe ist, und die Summation wird um so mehr Mühe kosten, je weniger man darin geübt ist; dem Ungeübten wird die Arbeit daher viel gröfser als dem Geübten. Die Frage ist nun, welche psychischen Erscheinungen speziell das Gepräge geistiger Arbeit tragen. Die Antwort hierauf lautet, dafs Vorstellungen und Gefühle Zustände, Urteile und Begierden dagegen Thätigkeiten, Arbeit sind. Soweit kann man dem Verf. jedenfalls gern recht geben. Da nun jede Arbeit eine Kraft voraussetzt, welche die gegebenen Widerstände überwindet, so müssen den beiden Hauptformen psychischer Arbeit also auch zwei Kräfte entsprechen: die Urteilskraft und der Wille. Es wird nun ferner entwickelt, wie die Vorstellungen sich als Massen betrachten lassen, auf welche die Urteilskraft wirkt, und der Verf. macht sich das Vergnügen, die Begriffe der physischen Mechanik recht eingehend an diesen psychischen Verhältnissen durchzuführen. Dergleichen

[1] Zeitschrift für Psych. u. Physiol. Bd. 8. S. 44 u. 161.

Digitized by Google

kann der Abwechselung halber natürlich ganz unterhaltend sein, es ist mir aber nicht klar, was eigentlich dadurch gewonnen wird, dafs man von der Bewegung der Vorstellungen im psychischen Kraftfelde, von geistigen Niveauflächen u. s. w. redet. Für alle diejenigen Verhältnisse, die hier eintreten können, und auf die sich die Bezeichnungen der Mechanik übertragen lassen, hat die Psychologie seit langem ihre eigne festgestellte Terminologie. Die ganze Entwickelung macht daher zunächst den Eindruck eines übrigens ziemlich harmlosen Spieles mit Worten. — Schliefslich stellt der Verf. die Frage auf: »Gehen psychische und physiologische Arbeit dermafsen parallel, dafs überall, wo letztere geleistet wird, auch erstere als geleistet wahrgenommen werden kann, und umgekehrt?« Dies mufs natürlich verneint werden, denn wir können doch nicht umhin, anzunehmen, dafs Empfindungen und Vorstellungen, die eben keine psychischen Arbeiten sind, an Energieveränderungen im Gehirn gebunden sind. Welches Verhältnis man sich nun übrigens als zwischen den eigentlichen »psychischen Kräften« und den materiellen Veränderungen bestehend zu denken habe, darüber läfst der Verf. uns in einer gewissen Unsicherheit schweben. Aus seiner weiteren Entwickelung[1] scheint jedoch hervorzugehen, dafs er am meisten geneigt ist, die psychischen Kräfte als von allen materiellen Veränderungen unabhängig zu betrachten.

Wie Höfler die Sache dargestellt hat, kann es sich vielleicht verhalten; ist es aber wirklich notwendig, anzunehmen, dafs jede Hauptform psychischer Arbeit auch eine spezielle psychische »Kraft« voraussetze? Ist dies der Fall, so müssen wir die vollen Konsequenzen nehmen, und in dieser Beziehung ist es nun ziemlich unglücklich, dafs Höfler trotz aller Gründlichkeit dennoch nicht alles mitbekommen hat. Dies gilt z. B. vom Auswendiglernen, dessen Charakter als psychische Arbeit der Verf. geradezu bestreiten zu wollen scheint. Etwas auswendig lernen ist doch ganz unbestreitbar eine Arbeit, obendrein vielleicht eine der am allermeisten anstrengenden psychischen Arbeiten, welche viele, besonders ältere

[1] Cit. Ort. S. 225—26; Sep.-Abd. S. 124—125.

Digitized by Google

Leute durchaus nicht bewältigen können. Hier müssen wir konsequent sein. Wenn ein Kind, obgleich der Lehrer ihm das ganze erforderliche Vorstellungsmaterial zurechtgelegt hat, dennoch das hierauf gebaute Urteil nicht auszusprechen vermag, so schliefst Höfler, »dafs es eben an — Urteilsfähigkeit fehle«[1]. Folglich müssen wir auch, wenn ein Mensch trotz aller Anstrengung und des besten Willens nicht im stande ist, eine lange Wörterreihe auswendig zu lernen, schliefsen, »dafs es eben an — Auswendiglernenfähigkeit fehle«. Und damit sind wir unzweifelhaft nicht fertig; eine ganze Reihe psychischer Kräfte wird sich nach und nach als notwendig erweisen. Es ist offenbar die alte Lehre von den Vermögen der Seele, die hier in modernisierter Gestalt ihren Spuk treibt; über diese Methode sollten wir aber doch am liebsten hinausgekommen sein. Glücklicherweise ist dieselbe denn auch ganz überflüssig.

Von Thätigkeit, Arbeit, kann nur da die Rede sein, wo Veränderungen vorgehen. Empfindungen, Vorstellungen und Gefühle sind eben aus diesem Grunde keine Arbeit zu nennen, da sie mehr oder weniger andauernde Zustände sind. Nur Veränderungen des Zustands können Arbeit sein, darum braucht aber nicht jede Veränderung des Bewufstseinszustandes eine psychische Arbeit zu sein. Dies ist z. B. nicht mit dem freien Vorstellungslaufe der Fall, den wir aus dem sogenannten »wachen Traume« kennen, wo die Gedanken nach Belieben kommen und gehen, wie auch aus dem scheinbar gesetzlosen Wechsel der Vorstellungen im wirklichen Traum. Es wird keinem Menschen beifallen, diese Erscheinungen zu psychischer Arbeit zu rechnen; im Gegenteil nennt man das wache Träumen im täglichen Leben »die Gedanken ruhen lassen«. Eine psychische Arbeit erhalten wir erst, wenn in den freien Vorstellungslauf Eingriffe geschehen, so dafs derselbe auf einen Zweck gelenkt wird, indem sich die Aufmerksamkeit auf bestimmte Vorstellungen richtet, die man festhält, während man andere beseitigt. Das Auswendiglernen, Phantasieren, das logische Denken u. dgl. werden mithin psychische Arbeit, weil zu allen diesen Thätigkeiten fortwährendes

[1] Cit. Ort. S. 96; Sep.-Abd. S. 53.

Digitized by Google

Eingreifen in den Vorstellungslauf und das Kontrollieren desselben erforderlich sind. Wodurch diese verschiedenen Thätigkeiten sich übrigens voneinander unterscheiden, brauchen wir hier nicht näher zu erörtern; dies läfst sich aus jedem Lehrbuche der von Höfler so tief verachteten »Associations-Psychologie« ersehen. Für uns ist es nur die Hauptsache, festzuhalten, dafs jede Veränderung des Zustandes eine psychische Arbeit ist, sobald sie auf einen bestimmten Zweck gerichtet wird, was ein Eingreifen in den freien Vorstellungslauf voraussetzt. Und dieses Eingreifen beruht auf, oder besteht in der Konzentration der Aufmerksamkeit auf bestimmte Zustände, die hierdurch auf Kosten andrer Zustände festgehalten werden. Die Aufmerksamkeit wird also, wenn man so will, die eigentliche »psychische Kraft«, welche die Arbeit verrichtet.

Hiermit soll natürlich durchaus nicht gesagt sein, dafs diese »psychische Kraft« von allen materiellen Verhältnissen unabhängig sei —, ja, es ist nicht einmal gegeben, dafs die Aufmerksamkeit überhaupt etwas Psychisches ist. Die Selbstbeobachtung zeigt uns nämlich niemals die Aufmerksamkeit selbst; wir beobachten nur deren Motive — gefühlsbetonte Vorstellungen — und deren Wirkung: dafs gewisse Bewufstseinszustände festgehalten, andre dagegen verdrängt werden. Das Wort »Aufmerksamkeit« bezeichnet also nur die Thatsache, dafs wir auf gegebenen Anlafs im stande sind, bestimmte psychische Zustände festzuhalten, für die wir zu irgend einem Zwecke Gebrauch haben. Die Thatsache selbst ist unbestreitbar und gehört zu unseren allgemeinsten psychologischen Erfahrungen; jedes Kind weifs ja, was das heifst, auf etwas aufmerksam sein. Wie die Aufmerksamkeit aber »wirkt«, was da geschieht, wenn wir aufmerksam sind, darüber sind die Psychologen sich bis jetzt nicht einig geworden. Dies zeigt an, dafs der Aufmerksamkeitsprozefs sich nicht unmittelbar beobachten läfst; wir sehen die Wirkungen, also es geschieht etwas, dies Etwas liegt aber offenbar aufserhalb unseres Bewufstseins. Die Möglichkeit läfst sich daher jedenfalls nicht ausschliefsen, dafs die Aufmerksamkeit ein physiologischer Prozefs wäre, der auf bestimmte Weise auf die psychischen Zustände influierte. Sollte

Digitized by Google

dies sich als richtig bestätigen — und a priori ist die Möglichkeit, wie gesagt, nicht abzuweisen — so müssen sowohl für die psychischen Thätigkeiten als für die psychischen Zustände mechanische Maſse zu finden sein, da beide diese Gruppen der Erscheinungen alsdann von Energieumsätzen im Gehirn abhängig werden. Hat Höfler dagegen recht darin, daſs psychische Kräfte von allen materiellen Verhältnissen unabhängig sein können, so werden sich für die von derartigen Kräften verrichteten Arbeiten keine mechanischen Äquivalente finden lassen. Hier liegt also eine Möglichkeit, daſs wir auf experimentellem Wege zur Entscheidung kommen können, welche dieser beiden Auffassungen die richtige ist.

Der Einfluſs der Denkarbeit auf die Muskelarbeit. Wenn wir gleich anfangs eine der kompliziertesten psychischen Erscheinungen zur Untersuchung vornehmen. könnte es leicht scheinen, als widerstritte dies aller wissenschaftlichen Methode, die ein Fortschreiten vom Einfacheren zum mehr Zusammengesetzten als das Natürliche verlangt. Den hier betretenen Weg schlage ich jedoch aus guten Gründen ein. Wie wir später sehen werden, ist der Einfluſs, den die psychischen Zustände — Empfindungen, Vorstellungen und gewisse Gefühle — auf die Muskelarbeit haben, ganz verschwindend klein. Hofft man deshalb darauf, ins klare darüber zu kommen, welche Bedeutung der Einwirkung der Bewuſstseinserscheinungen auf die Muskelarbeit überhaupt beizulegen ist, so muſs man notwendigerweise mit der Untersuchung derjenigen Fälle anfangen, in welchen sich unzweifelhafte und entschiedene Resultate erreichen lassen. Es erweist sich nun, daſs dies von solchen komplizierten Erscheinungen wie dem Denken gilt, und können wir aus praktischen Gründen ohnehin nicht rationell verfahren, so machen wir den Anfang ebenso gut mit dieser als mit irgend einer anderen Erscheinung.

Wenn von Denkarbeit als Gegenstand experimenteller Untersuchung die Rede ist, wird man in seiner Wahl ziemlich beschränkt sein. Dies wird namentlich der Fall, wenn man die Resultate schwierigerer Arbeit mit denen weniger schwieriger Arbeit zu

Digitized by Google

vergleichen wünscht. Man wird dann fast ausschliefslich auf Rechenaufgaben hingewiesen sein, deren Schwierigkeit allerdings mit der Gröfse der Zahlen, mit denen man operiert, zunimmt. Der Mafsstab ist selbstverständlich für jedes einzelne Individuum verschieden, von der Übung des Betreffenden im Rechnen mit Zahlen abhängig; was der eine im Handumdrehen zu stande bringt, kann für den anderen eine ganz unlösliche Aufgabe sein, wenn er sie im Kopf rechnen soll. Weil der Anfangspunkt der Schwierigkeiten aber individuell verschieden ist, wird es darum doch nicht weniger sicher, dafs die Schwierigkeit mit der Gröfse der Zahlen wächst. Hierdurch wird es also möglich, sich eine Reihe von Arbeiten zu verschaffen, die an Schwierigkeit einigermafsen sanft zunehmen, und aufserdem kann man durch blofses Variieren der Zahlen eine fast unendliche Menge gleichartiger Arbeiten von derselben Schwierigkeit erzielen. Meines Wissens gibt es keine andre Art Denkarbeit, die sowohl so grofse Abwechselung als so feine Anmessung der Schwierigkeit gestattet; ich blieb deswegen ausschliefslich beim Kopfrechnen, das alle billigen Forderungen befriedigt.

Die Versuchsanordnung bei diesen Versuchen war ganz einfach. Die Aufgaben, die benutzt werden sollten, waren mit grofsen, deutlichen Zahlen auf Karton geschrieben; die Zahlen waren so untereinander angebracht, wie man sie gewöhnlich stellt, wenn man sich die Operation möglichst erleichtern will. Aus unten zu erörternden Gründen wurden fast alle Versuche paarweise angestellt, indem kurz aufeinander zwei gleichartige Aufgaben von möglichst gleicher Schwierigkeit, aber mit verschiedenen Kombinationen der Zahlen, gegeben wurden, so dafs die letztere durch das eben vorhergehende Ausrechnen der ersteren keine Erleichterung fand. Neben dem Ergographen war vor der V-P ein kleines Stativ angebracht, auf welchem der Experimentator geschwind das Papier mit der Aufgabe anbringen konnte. Der Verlauf der Versuche war nun folgender. Wenn die V-P sich klar zur Arbeit gemeldet hatte, wurde der Kymograph in Gang gesetzt, worauf die V-P zu arbeiten begann. Sobald eine passende Anzahl, 15—20, Partialarbeiten ausgeführt waren, brachte

Digitized by Google

der Experimentator den Karton mit der Aufgabe im Stative an, und die V-P machte sich sogleich an die Lösung der Aufgabe. Dieser Moment wurde vom Experimentator mittels des hierzu eingerichteten Signalapparats (siehe I. Teil, S. 31) auf der Walze des Kymographen markiert. War die Aufgabe gelöst, so gab die V-P dies durch ein Nun! an, und der Experimentator machte wieder ein Zeichen; zugleich wurde die benutzte Aufgabe entfernt. Die V-P setzte mittlerweile die Arbeit am Ergographen fort, ohne sich stören zu lassen. Nachdem wieder eine Anzahl von etwa 15 Partialarbeiten ausgeführt war, wurde die zweite Aufgabe derselben Art wie die erste im Stativ angebracht, und mit dieser verfuhr man ganz wie mit der ersten. Nach ihrer Lösung wurde der Versuch durch 15–20 Partialarbeiten abgeschlossen. Wo nichts andres angegeben ist, war der Takt in allen Fällen 40 pr. Min. — Wir betrachten nun die Ergebnisse der solchergestalt angestellten Versuche.

Löst man eine Aufgabe im Kopfrechnen, während man zugleich auf den Ergographen wirkt, so zeigt es sich sofort, dafs diese beiden Arbeiten, die geistige und die körperliche, nicht voneinander unabhängig sind; sie influieren gegenseitig aufeinander. Auffallend ist der Einflufs der geistigen Arbeit auf die körperliche; die Gröfse der Partialarbeiten nimmt ab, man kann keine maximalen Muskelkontraktionen mehr ausführen. Dies geht aus Pl. XXI—XXIII deutlich hervor. Alle hier wiedergegebenen Ergogramme zeigen mehr oder weniger entschiedene Abweichungen vom normalen Verlauf, und diese Abweichungen sind einer gleichzeitig ausgeführten Denkarbeit zu verdanken. Die beiden Pfeile, die in allen erwähnten Ergogrammen am Anfang und am Ende einer Senkung stehen, markieren die Momente des Anfangs und des Abschlusses eines Rechenexempels. Die Verminderung der Partialarbeiten dauert also genau so lange an wie die Denkarbeit; die beiden Erscheinungen sind in jeder Beziehung gleichzeitig, und es kann daher keinen Zweifel erleiden, dafs die Denkarbeit auf irgend eine Weise die Verminderung der Arbeit verursacht. Dies ist indes nur die eine Seite der Sache. Die körperliche Arbeit influiert ebenfalls auf die Denkarbeit; dies

Digitized by Google

läſst sich natürlich aber nicht veranschaulichen, sondern nur durch Selbstbeobachtung konstatieren. Glücklicherweise läſst sich zugleich aber doch ein entscheidender Beweis für die Richtigkeit der Selbstbeobachtung führen. Der Einfluſs der Muskelarbeit auf die Denkarbeit erweist sich nämlich als wesentlich darin bestehend, daſs es schwierig wird, die Resultate der einzelnen Rechenoperationen im Gedächtnisse zu behalten. Nehmen wir ein bestimmtes Beispiel. Hat man auf einem Stücke Papier vier dreistellige Zahlen untereinander stehen, so wird jeder, der nur einigermaſsen im Rechnen geübt ist, im stande sein, in wenigen Sekunden diese vier Zahlen zu addieren und das erschienene Resultat zu nennen. Dies ist aber so gut wie unmöglich, wenn man zugleich mit dem Ergographen arbeitet. Natürlich läſst es sich thun, die herausgekommenen Zahlen zu behalten, dann wird die Gröſse der Partialarbeiten aber noch viel kleiner. Arbeitet man dagegen so stark, wie die Rechenoperationen es nur gestatten, so zeigt es sich sogleich, daſs man die Summe der ersten Zahlenreihe vergessen hat, wenn man die Summe der zweiten bekommt. Eine Addition kann zwar völlig gelingen, indem man alle einzelnen Zahlen zusammenlegt, das Resultat als Totalität läſst sich jedoch nicht angeben. Die Folge hiervon ist, wie leicht zu ersehen, daſs eine gröſsere Multiplikation gar nicht vollführt werden kann. Handelt es sich z. B. darum, eine dreistellige Zahl mit einer zweistelligen zu multiplizieren, so kann man verfahren, wie man will; während man eine Multiplikation ausführt, vergiſst man das Resultat der vorhergehenden, so daſs man die herausgekommenen Gröſsen nicht addieren kann. In Wirklichkeit gelingt es also gar nicht, die Multiplikation auszuführen: man löst sie in eine Reihe einzelner Multiplikationen auf, und weiter kommt man nicht.

Für die Richtigkeit dieser auf Selbstbeobachtung gestützten Darstellung haben wir nun einen guten Beweis an der Thatsache, daſs es unter gewöhnlichen Verhältnissen keiner meiner Versuchspersonen gelang, das Resultat der ausgerechneten Exempel richtig anzugeben. Dr. B., unbedingt derjenige, der das beste Zahlengedächtnis hatte, und der deshalb am schnellsten

Digitized by Google

und sichersten rechnete, gab mitunter das gefundene Resultat an, das aber nicht ein einziges Mal richtig war. Die anderen Versuchspersonen stellten nie einen Versuch in dieser Richtung an, da sie ein deutliches Gefühl von dessen Hoffnungslosigkeit hatten. Infolge dieser eigentümlichen Verhältnisse bestand die Denkarbeit bei fast allen, jetzt näher zu besprechenden Versuchen ausschliefslich in der Ausführung solcher Rechenoperationen, die nicht erforderten, dafs die bereits gewonnenen Resultate im Gedächtnisse blieben. Da man sie nicht zu behalten vermochte, hatte man guten Grund, nicht weiter damit zu rechnen. Diese praktische Konsequenz hat indes bei weitem nicht so grofses Interesse wie das in theoretischer Beziehung wichtige Resultat, dafs die Muskelarbeit auf die Denkarbeit influiert und namentlich das Erinnern erschwert. Bei der Lösung einer Aufgabe im Kopfrechnen werden die eigentlichen Rechenoperationen nur in geringem Grade von gleichzeitiger Muskelarbeit beeinflufst werden, während das Behalten der Resultate des Rechnens jedenfalls äufserst schwierig wird.

Die angeführte Thatsache öffnet, wie leicht zu sehen, die Möglichkeit, eine Art Mafs für wenigstens zwei verschiedene Gattungen psychischer Arbeit zu finden, nämlich für die eigentlichen Rechenoperationen und für die Gedächtnisarbeit. Man braucht nur die beiden folgenden Versuche anzustellen. Einmal führt man ein Rechenexempel auf die oben beschriebene Weise aus, so dafs man die Operationen unternimmt, ohne einen Versuch zu machen, die partiellen Resultate im Gedächtnisse zu behalten. Ein andermal rechnet man ein Exempel derselben Art und Schwierigkeit, und zwar so, dafs man zugleich das richtige Resultat anzugeben vermag. Dies wird der obigen Darstellung zufolge nur dadurch möglich, dafs die gleichzeitige Muskelarbeit sehr beträchtlich vermindert wird. Die Verminderung der Arbeit, die man auf diese Weise in den beiden Fällen findet, ist dann offenbar der Ausdruck für die relative Schwierigkeit der beiden psychischen Arbeiten. Später werden wir auf Versuche dieser Art näher eingehen, hier wollen wir den Gedanken nicht weiter verfolgen. Wenn ich gleich anfangs auf die Schwierigkeit auf-

Digitized by Google

merksam machte, welche das Erinnern der Resultate des Rechnens darbietet, so geschah dies nur, um genau angeben zu können, in welchem Umfange die gestellten Rechenaufgaben gelöst — oder vielmehr: nicht gelöst wurden. Denn wegen der grofsen Schwierigkeiten, die Resultate zu behalten, verlangte ich dies nicht. Wie schon gesagt, wurde nur verlangt, dafs die Rechenoperationen genau und sicher ausgeführt würden, und zwar in so grofsem Umfang, wie es möglich war, wenn die partiellen Resultate des Rechnens ebenso schnell, wie sie gefunden waren, wieder vergessen wurden.

Nachdem wir nun die Beschaffenheit der verrichteten psychischen Arbeit erörtert haben, betrachten wir die einzelnen Versuche und die Resultate, die sich hieraus ableiten lassen. Dafs die psychische Arbeit in allen Fällen eine Verminderung der gleichzeitigen körperlichen herbeiführt, ist durchaus unzweifelhaft. Dies genügt aber nicht; um die Verminderung der Arbeit als Mafs für die psychische Arbeit gebrauchen zu können, mufs zwischen den beiden Thätigkeiten ein gesetzmäfsiges Verhältnis bestehen. Vor allen Dingen müssen wir daher in Erfahrung bringen, wie die einer bestimmten psychischen Arbeit entsprechende Verminderung der Arbeit mit der Ermüdung der Muskeln variiert. Ist hier kein bestimmtes Gesetz zu finden, so wird die Verminderung der Arbeit offenbar auch nicht zum Mafs der psychischen Thätigkeit brauchbar, weil wir dann verschiedene Werte für eine und dieselbe, aber in verschiedenen Stadien der Ermüdung verrichtete psychische Arbeit finden würden. Zu diesem Zwecke, um die Abhängigkeit der Verminderung der Arbeit von der Ermüdung zu bestimmen, wurde die oben beschriebene Ordnung der Versuche mit zwei gleichartigen Rechenaufgaben im Laufe jedes Ergogramms durchgeführt. Sehen wir nun erst, welche Resultate sich hieraus ableiten lassen.

Wollen wir uns nicht darauf beschränken, nur eine Verminderung der Arbeit zu konstatieren, sondern verlangen wir zugleich ein Mafs für deren Gröfse, so müssen wir notwendigerweise bestimmen, wie das Ergogramm ausgesehen haben würde, hätte nicht zu gleicher Zeit eine psychische Thätigkeit stattgefunden. Wegen

Digitized by Google

der vielen kleinen Unregelmäfsigkeiten der Ergogramme ist es nicht ganz ratsam, einfach die Endpunkte der Ordinaten miteinander zu verbinden. Denn da die beiden Ordinaten unmittelbar vor und nach der Ausführung der psychischen Arbeit zweifelsohne mit zufälligen Fehlern behaftet sind, wird eine die Endpunkte dieser beiden Ordinaten verbindende Linie ganz gewifs nicht dem wahrscheinlichen Verlaufe des Ergogramms zwischen den beiden Punkten entsprechen. Um von dem wahrscheinlichen Verlauf der Kurve ein möglichst genaues Bild zu erhalten, bediente ich mich der früher beschriebenen Eliminationsmethode (vgl. S. 157). Die drei Strecken des Ergogramms, welche vor, zwischen und hinter den ausgeführten psychischen Arbeiten liegen, wurden jede für sich in Gruppen von 5—7 Partialarbeiten eingeteilt. Für jede Gruppe nahm ich das Mittel der Gröfse der Partialarbeiten und dieses Mittel setzte ich als Ordinate mitten in der Gruppe ab. In den auf diese Weise bestimmten Ordinaten sind die zufälligen Variationen gewifs nach Möglichkeit eliminiert, und durch die Endpunkte dieser Ordinaten wird eine kontinuierte Kurve gelegt. Diese zeigt also den Verlauf, den das Ergogramm wahrscheinlich gehabt haben würde, wäre keine psychische Arbeit verrichtet[1]. In alle Ergogramme der Plane XXI—XXIV sind diese wahrscheinlichen Kurven eingetragen; bei den Details ihrer Bestimmung werde ich nicht verweilen.

Haben wir auf diese Weise den wahrscheinlichen Verlauf der Ergogramme gefunden, so ist es eine leichte Sache, die Verminderung der Arbeit während der psychischen Thätigkeit zu bestimmen. Die wirklich verrichtete Arbeit, A_r, erhält man nämlich durch einfache Summation der Höhen der Partialarbeiten. Die wahrscheinliche Arbeit, A_s, findet man, indem man die Gröfsen der Ordinaten der wahrscheinlichen Kurve mifst und zusammenlegt, oder leichter, indem man das Areal der Figur berechnet, die von der ersten und der letzten Ordinate zwischen den beiden Pfeilen begrenzt

[1] Ein naheliegender Einwurf, der sich gegen diese Bestimmung des wahrscheinlichen Verlaufs erheben läfst, wird unten besprochen werden.

Digitized by Google

wird. Da die wahrscheinliche Kurve kürzere Strecken hindurch als eine Gerade betrachtet werden kann, wird das von zwei Ordinaten begrenzte Areal ein Paralleltrapez, dessen Gröfse sich aus der Höhe der begrenzenden Ordinaten und der gesamten Anzahl der zwischen den beiden Grenzen gelegenen Ordinaten berechnen läfst. Auf diese Weise bestimmte ich alle im Folgenden angegebenen Werte von A_s. Es ist nun also die Aufgabe, ein gesetzmäfsiges Verhältnis zwischen A_s und A_r zu finden; zu diesem Zwecke gehen wir die Ergogramme einzeln durch.

Pl. XXI, A. d. 15/2. A. L. Addition von vier dreistelligen Zahlen.

Dieser Versuch ist der erste dieser Art, den ich ausführte. Er ist zunächst als völlig mifslungen zu betrachten und forderte eigentlich nicht zu weiteren Bemühungen in dieser Richtung auf. Es läfst sich nämlich denken, dafs zwei Gröfsen als Mafs für die psychische Arbeit anwendbar wären: entweder die absolute Verminderung der Arbeit, $A_s - A_r$, oder auch die relative Verminderung der Arbeit, $(A_s - A_r)/A_s$. Wir müssen deshalb erst sehen, wie es sich mit diesen Gröfsen verhält.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r)/A_s$
Arbeit I	48,0	42,7	5,3	0,11
» II	31,2	23,5	7,7	0,25

Hieraus geht hervor, dafs weder die Differenz noch das Verhältnis zwischen den beiden Arbeiten eine konstante Gröfse ist. Das gesetzmäfsige Verhältnis, das zweifelsohne zwischen der psychischen Arbeit und der Verminderung der körperlichen Arbeit stattfinden mufs, ist also nicht so leicht zu gewahren. Aus diesem Grunde wurden die hierauf bezüglichen Versuche vorläufig eingestellt und erst wieder aufgenommen, als ein grofser Teil der früher besprochenen ergographischen Versuche vollführt war. Diese Ordnung erwies sich als ganz praktisch, denn als die Versuche wieder aufgenommen wurden, trat die gesuchte Gesetzmäfsigkeit sogleich hervor. Dafs ich bei diesem ersten, mifslungenen Versuche verweile, geschieht eigentlich nur, um hieraus die Lehre zu ziehen, dafs man auch auf

Digitized by Google

diesem Gebiete zu falschen Resultaten kommen wird, wenn man die Sache verkehrt anfafst. Und ganz besonders gilt hier wie bei den meisten anderen experimentell-psychologischen Untersuchungen: sind die Versuchspersonen in der speziellen Art der Arbeit nicht gut eingeübt, so ist kein brauchbares Versuchsmaterial zu erhalten. Der hier besprochene Versuch mifslang gerade, weil die betreffende V-P in der Arbeit mit dem Ergographen keine hinlängliche Übung besafs; sie ermüdete zu schnell. Dies ist direkt aus dem Verlaufe des Ergogramms zu ersehen. Während der psychischen Arbeit ruhen die Muskeln ein wenig, da sie keine maximale Arbeit verrichten. Die Folge hiervon wird die, dafs die Ermüdung der Muskeln nach Ausführung der psychischen Arbeit nicht so grofs ist, wie sie geworden wäre, wenn keine psychische Arbeit stattgefunden hätte. Nach Abschlufs der letzteren werden die Partialarbeiten also verhältnismäfsig grofs, diese Wirkung wird sich aber beim ungeübten Muskel sogleich wieder verlieren, so dafs das Ergogramm darauf jäh herabsinkt. Wie man sieht, ist eben dies mit dem Ergogramm Pl. XXI, A der Fall, während es in allen folgenden, auf späteren Übungsstufen ausgeführten Ergogrammen fast gar nicht vorkommt. Hier sind die Partialarbeiten nach den Senkungen natürlich auch relativ grofs, diese Höhe erhält sich aber, es tritt kein jäher Sturz ein, weil die Muskeln nicht so geschwind ermüden. In diesem Falle tritt nun auch die Gesetzmäfsigkeit hervor, die wir beim ersten Experimente vergeblich suchten.

Pl. XXI, B. d. 20/2. A. L. Addition von vier dreistelligen Zahlen.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r)/A_s$
Arbeit I	53.9	42.2	11.7	0.22
„ II	34.5	27.5	7.0	0.20

Während die absolute Verminderung der Arbeit bei den beiden Arbeiten einen sehr bedeutenden Unterschied aufzeigt, ist die relative Verminderung $(A_s - A_r)/A_s$ dagegen konstant. Es erweist sich nun, dafs dieses Verhältnis gemeingültig ist, und es tritt um so deutlicher und unzweifelhafter hervor, je gröfser die psychische Arbeit wird.

Digitized by Google

Pl. XXI, C. d. 3/8. A. L. Addition von sechs fünfstelligen Zahlen.

Selbst wenn man nicht darauf ausgeht, das Resultat der Berechnung im Gedächtnisse zu behalten, wird die Addition von sechs fünfstelligen Zahlen nicht nur längere Zeit erfordern als die Addition von vier dreistelligen, sondern sie wird auch eine schwierigere Arbeit sein, da man mit gröſseren Zahlen operieren muſs. Daſs 8 + 5 gleich 13 ist, weiſs jedermann; wer aber nicht alle Tage groſse Zahlenreihen summiert, muſs doch ein wenig nachdenken, um zu wissen, daſs 28 + 5 = 33. Die Schwierigkeit wächst also, wenngleich in sehr geringem Grade, je höher man in der Reihe der Zahlen gelangt, was natürlich darin liegt, daſs die Associationen nicht so geläufig gehen, weil sie weniger häufig vorkommen. Die gröſsere Schwierigkeit dieses Rechenexempels im Vergleich mit dem vorhergehenden kommt nun auch in den Zahlen zum Vorschein.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r) : A_s$
Arbeit I	82,5	55,1	27,4	0,33
» II	47,3	29,4	17,9	0,38

Hier ist, wie man sieht, ein so groſser Unterschied zwischen den Werten der absoluten Arbeitsverminderung, daſs nicht davon die Rede sein kann, diese Gröſse als konstant zu betrachten. Dagegen weichen die Gröſsen der relativen Arbeitsverminderung in den beiden Fällen nur sehr wenig voneinander ab, und diese Zahlen sind ein wenig gröſser als die entsprechenden des vorigen Versuches. Dies stimmt völlig mit dem überein, was von der Gröſse der verrichteten psychischen Arbeiten nachgewiesen wurde. Je gröſser dieselbe ist, um so kleiner muſs A_r werden, und mithin nimmt $(A_s - A_r) : A_s$ zu. Der gröſsten psychischen Arbeit entspricht folglich der gröſste Wert von $(A_s - A_r) : A_s$, und es zeigte sich, daſs gerade dies der Fall war. Noch deutlicher tritt dies hervor, wenn wir eine schwierigere Rechenaufgabe, z. B. eine gröſsere Multiplikation nehmen, was aus folgendem Versuche hervorgeht.

Pl. XXII, A. d. 5/8. A. L. Arbeit I: 657 × 34. Arbeit II: 392 × 43.

Schon der bloſse Anblick der Ergogramme zeigt

Digitized by Google

hier, dafs die psychischen Arbeiten nicht nur ziemlich lange Zeit erforderten, sondern auch, dafs sie mit bedeutender Schwierigkeit verbunden waren; die verrichtete Muskelarbeit ist sehr klein. Infolge dessen wird die Art und Weise, wie wir den wahrscheinlichen Verlauf des Ergogramms bestimmen, höchst unzuverlässig. Denn wenn die Muskeln während längerer Zeit nur so geringe Arbeit verrichten, wie das Ergogramm hier anzeigt, so nimmt die Ermüdung nicht besonders zu. Deshalb werden die Partialarbeiten nach der psychischen Arbeit viel gröfser, als sie zu diesem Zeitpunkte gewesen wären, wenn keine psychische Arbeit stattgefunden hätte. Die eingezeichnete wahrscheinliche Kurve ist deshalb aufser allem Zweifel unrichtig, sie liegt nicht so wenig höher, als sie eigentlich sollte. Die hieraus berechnete wahrscheinliche Arbeit A_s wird also zu grofs, und mithin wird auch $(A_s - A_r)/A_s$ zu grofs. Es ist in dieser Beziehung ohne Bedeutung, in welchem Stadium der Muskelermüdung wir die psychische Arbeit ausführen; die Partialarbeiten müssen nach dem Rechenexempel jedenfalls gröfser werden, als sie eigentlich sein sollten. Bei beiden ausgeführten Rechenaufgaben wird die eingezeichnete wahrscheinliche Kurve daher um gar nicht so wenig zu hoch liegen. Ob nun der Fehler, den wir somit bei der Berechnung von $(A_s - A_r)/A_s$ begehen, für Arbeit I und II gleich grofs wird, das wissen wir nicht, grofs kann der Unterschied aber gewifs nicht werden, da der Wert von $(A_s - A_r)/A_s$ doch annähernd konstant wird. Das Wesentlichste ist also, dafs diese Gröfse nach der Weise, wie sie berechnet wird, thatsächlich ein wenig zu grofs werden mufs, wenn die psychische Arbeit eine so bedeutende Arbeitsverminderung bewirkt, wie es hier der Fall ist.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r)/A_s$
Arbeit I	159,6	72,6	87.0	0,54
» II	105,3	40,0	65,3	0,62

Um nun sicher sein zu können, dafs die gefundene Gesetzmäfsigkeit hier nicht rein individuell ist, untersuchen wir einige von einer anderen V-P ausgeführte Ergogramme, indem wir zugleich psychische Arbeiten von wesentlich verschiedener Schwierigkeit wählen.

Digitized by Google

Pl. XXI, D. d. 3/8. Dr. B. Summation von sechs fünfstelligen Zahlen.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r) : A_s$
Arbeit I	61,2	51,0	10,2	0,17
» II	45,9	35,3	10,6	0,23

Dieses Experiment ist lehrreich, weil es zeigt, wie die zufälligen Fehler so grofs werden können, dafs $A_s - A_r$ nahe daran ist, eine konstante Gröfse zu werden, wodurch $(A_s - A_r) : A_s$ für die beiden gleichartigen psychischen Arbeiten selbstverständlich verschiedenen Wert erhalten mufs. Die Ursache dieser zufälligen Fehler wird gleich im Folgenden erörtert werden. Hier führe ich nur noch einen Versuch mit derselben V-P an, aus welchem deutlich hervorgeht, dafs es wirklich nur auf einem Zufall beruht, wenn die absolute Arbeitsverminderung sich im vorigen Versuche konstant zeigte.

Pl. XXII, B. d. 5/8. Dr. B. Arbeit I: 657×34. Arbeit II: 392×43.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r) : A_s$
Arbeit I	156,8	96,7	60,1	0,38
» II	88,2	47,3	40,9	0,46

Hier ist, wie man sieht, der Unterschied zwischen den beiden Werten von $A_s - A_r$ ein so bedeutender, dafs sich nicht wohl denken läfst, er sollte auf einem Zufall beruhen, dagegen kommen die beiden Werte für die relative Arbeitsverminderung sich sehr nahe. Gleichgrofs sind sie allerdings nicht, und geht man alle im Vorhergehenden angeführten Ausmessungen durch, so wird man fast überall finden, dafs die Arbeit II mit dem gröfsten Werte auftritt. Wenn wir aber später zur Untersuchung der Fehlerquellen bei diesen Experimenten gelangen, wird es sich erweisen, wie dieselben gerade bewirken müssen, dafs die letzte psychische Arbeit etwas gröfser wird als die erste. Ebenfalls werden wir sehen, dafs man durch eine ein wenig veränderte Arbeitsweise diesen Fehler fast gänzlich zu eliminieren vermag. Es wird deshalb berechtigt, die Abweichung der zusammengehörenden Werte $(A_s - A_r) : A_s$ voneinander als einen durch die Versuchsanordnung eingebrachten Fehler zu betrachten, und wir können

Digitized by Google

daher als Resultate dieser Versuche folgendes feststellen:

Wenn eine psychische Arbeit, wie Kopfrechnen, gleichzeitig mit einer körperlichen, maximale Muskelanspannung erfordernden Arbeit ausgeführt wird, so wird die psychische Arbeit eine Verminderung der gleichzeitigen körperlichen zur Folge haben, und die Verminderung wird um so gröfser, je schwieriger die psychische Arbeit ist. Das Verhältnis zwischen dem absoluten Werte der Arbeitsverminderung und der Gröfse der körperlichen Arbeit, die ausgeführt worden wäre, wenn keine psychische Arbeit stattgefunden hätte, erweist sich als eine von der Muskelermüdung unabhängige, konstante Gröfse, so dafs dieses Verhältnis, die relative Arbeitsverminderung, sich also als Mafs für die Gröfse der psychischen Arbeit gebrauchen läfst.

Der Bequemlichkeit halber bezeichnen wir im Folgenden die relative Arbeitsverminderung $(A_s - A_r) / A_s$ durch M. Vergleichen wir, in den oben besprochenen Versuchen, die für die beiden Versuchspersonen gefundenen Werte von M miteinander, so stellt es sich dar, dafs gleichartige Aufgaben keineswegs für beide Versuchspersonen denselben Wert von M ergaben. Dr. B., der unbedingt am schnellsten und sichersten rechnete, und dem eine gegebene Aufgabe daher thatsächlich verhältnismäfsig geringere Schwierigkeit bereitete, erhält denn auch fortwährend geringere Werte von M. Diese Gröfse, M, läfst sich also nicht nur als Mafs für die relative Schwierigkeit verschiedener psychischer Arbeit für dieselbe V-P gebrauchen, sondern kann ebenfalls auch dazu dienen, verschiedene Versuchspersonen mit Bezug auf die ihnen durch dieselbe Arbeit bereitete Schwierigkeit miteinander zu vergleichen. Dies fällt besonders auf, wenn wir eine V-P nehmen, deren Ergogramme von den bisher untersuchten bedeutend abweichen. Dies gilt z. B. von Fnn, der d. $^{20}/_{2}$ einen ziemlich heftigen Anfall der Influenza erlitt, welcher eine ganz erstaunliche Abnahme der Muskelarbeit bewirkte. Sowohl die

Höhe als die Länge der Ergogramme nahm stark ab, und es verlief fast ein Monat, bis es ihm wieder gelang, Ergogramme von derselben Gröfse wie vor der Krankheit zu leisten. Er eignete sich deshalb auch nicht zum Objekt weitläufigerer Versuche, die wenigen an ihm angestellten sind in diesem Zusammenhang aber sehr illustrierend. Ich gebe einen derselben wieder.

Pl. XXV, A. d. $^{3}/_{4}$. Fnn. Summation von sechs fünfstelligen Zahlen.

Die V-P rechnete ziemlich leicht und sicher, das Ausrechnen nahm aber so viel Zeit in Anspruch, dafs nur ein Versuch angestellt werden konnte. Das Eigentümliche des Ergogramms ist die geringe Höhe der Partialarbeiten, die bei einem Vergleich mit den Ergogrammen in den Pl. XXI—XXIV auffällt. Dennoch erhalten wir einen ganz passenden Wert der Arbeitsverminderung:

$$A_s = 75{,}2 \quad A_r = 43{,}9 \quad A_s - A_r = 31{,}3 \quad M = 0{,}42.$$

Für ganz dieselbe Arbeit fanden wir oben mit Bezug auf A. L. (Pl. XXI, C) $M = 0{,}33$ und 0,38, so dafs Fnn's Geschicklichkeit im Rechnen demnach ein wenig geringer sein sollte, was sie gewifs auch ist. Zu dem oben angegebenen Satze können wir jetzt daher folgendes hinzusetzen:

Die relative Arbeitsverminderung, die eine gegebene Aufgabe bewirkt, ist individuell verschieden, von der Schwierigkeit abhängig, welche die bestimmte psychische Arbeit jedem einzelnen Individuum darbietet. Hieraus folgt, dafs die relative Arbeitsverminderung auch dazu dienen kann, verschiedene Individuen hinsichtlich ihrer Fähigkeit, eine vorgelegte psychische Arbeit zu lösen, miteinander zu vergleichen.

Streng genommen, haben wir so viel indes noch nicht bewiesen. Freilich fanden wir, dafs M unter verschiedenen Umständen sehr verschiedene Werte erhält, ob dies aber von der psychischen Arbeit, von den geistigen Thätigkeiten oder möglicherweise nur von den verschiedenen Vorstellungen, mit welchen operiert wird, herrührt, kam noch nicht zur Entscheidung. Es

Digitized by Google

wäre ja sehr wohl denkbar, dafs eben die psychischen Thätigkeiten, die logischen und die associativen Prozesse, von allen materiellen Erscheinungen unabhängig wären, mithin keinen Einflufs auf die Muskelarbeit hätten; die wahrgenommene Arbeitsverminderung müfste dann von den im Bewufstsein auftretenden Vorstellungen herrühren, die ohne Zweifel von Energieumsätzen im Gehirn abhängig sind. Welche dieser Auffassungen die rechte ist, mufs offenbar durch einen vergleichenden Versuch zu entscheiden sein. Wir brauchen nur eine Reihe von Vorstellungen in unserem Bewufstsein entstehen zu lassen, in einem Falle als Resultat einer sinnlichen Wahrnehmung, in einem anderen Falle als Resultat einer logischen Operation. Erhalten wir in beiden Fällen dieselbe relative Arbeitsverminderung, so ist hiermit gegeben, dafs die psychische Thätigkeit gar keinen Einflufs hat; es müssen dann die Vorstellungen sein, die an und für sich die Arbeitsverminderung bewirken. Wie ein solches Experiment ausgeführt werden kann, läfst sich leicht durch ein Beispiel zeigen. Nehmen wir an, dafs wir eine Addition der vier Zahlen 385, 672, 913, 485 ausführen, und dafs diese auf gewöhnliche Weise untereinander aufgeschrieben sind. Während des Rechnens entstehen nun successiv folgende Vorstellungen: 5 + 2 macht 7, + 3 macht 10, + 5 macht 15, und indem nun der Zehner zur nächsten Reihe gefügt wird: 1 + 8 macht 9, + 7 macht 16 u. s. w. Schreiben wir nun alle diese successiven Zahlen auf ein Stück Papier, so leuchtet es ein, dafs man ganz dieselben Vorstellungen beim Durchlesen dieser Zahlen wie bei der Ausführung der Berechnung erhalten wird. In beiden Fällen ist der Vorstellungslauf derselbe, in einem Falle sind die Vorstellungen nur durch Anschauung gegeben, im anderen entstehen sie durch logisch-associative Thätigkeit. Die Frage ist also nur, ob wir denselben Wert von *M* erhalten, gleichviel ob die Vorstellungen auf die eine oder die andere Weise kommen. Die Antwort hierauf erhalten wir, wenn wir das Ergogramm Pl. XXI, B, welches uns das Resultat der Addition der vier dreistelligen Zahlen zeigt, vergleichen mit:

Pl. XXIII, A.[10] 10. A.L. Durchlesen einer Zahlenreihe.

Die bei diesem Experimente durchgelesene Zahlenreihe war eben diejenige, welche auf oben beschriebene Weise durch Addition der vier Zahlen herauskommt. Damit der Experimentator kontrollieren konnte, dafs die Zahlenreihe wirklich klar aufgefafst sei, wurde die ganze Reihe halblaut hergesagt. Das Hersagen fand während des Zeitraums statt, der zwischen den beiden Pfeilen im Ergogramm liegt. Man sieht hieraus, dafs das Hersagen keinen nachweisbaren Einflufs auf die Muskelarbeit hatte, wogegen die Addition der Zahlen eine sehr mefsbare Arbeitsverminderung bewirkte. Dieser Versuch wurde auf mancherlei Weise variiert, hatte aber immer dasselbe Resultat. Nicht-gefühlsbetonte Empfindungen jeder beliebigen Art und Dauer bewirken also nie eine mefsbare Arbeitsverminderung. Es gibt namentlich einen Versuch, der sich sehr leicht anstellen läfst, und der deutlich zeigt, dafs die Lenkung der Aufmerksamkeit auf sinnliche Empfindungen nicht auf die Muskelarbeit influiert. Wenn man mit dem Ergographen arbeitet, wird man gewöhnlich die Aufmerksamkeit ausschliefslich auf die Muskelarbeit konzentriert halten, so dafs man sich kaum bewufst ist, die die einzelnen Züge auslösenden Taktschläge des Metronoms zu hören. Dennoch hört man dieselben, denn kommt man einen Augenblick aus dem Takt, so hält man unwillkürlich ein, um wieder in Takt zu kommen. Arbeitet man nun in regelmäfsigem Takte, mit voller Aufmerksamkeit auf die Muskelbewegungen, so kann man plötzlich die Aufmerksamkeit willkürlich auf die Taktschläge richten und diesen horchen — was jedoch keine nachweisbare Verminderung im Ergogramme herbeiführt. Die Kurve Pl. XXIII, A ist daher völlig typisch, und wir können also folgendes Resultat feststellen:

Unbetonte Empfindungen und Vorstellungen haben keinen mefsbaren Einflufs auf die gleichzeitige körperliche Arbeit. Es sind nur die psychischen Thätigkeiten, die eine Arbeitsverminderung bewirken, und die Gröfse der letzteren ist unabhängig von den Vorstellungen, mit welchen man operiert.

Man bekommt also wohl schwerlich Gebrauch für die

Digitized by Google

von Höfler angedeuteten psychischen Kräfte, die mit materiellen Erscheinungen in keiner Verbindung stehen sollten. Die Arbeitsverminderung rührt, wie wir sahen, gerade von den psychischen Thätigkeiten her, folglich müssen diese auch auf irgend eine Weise mit den körperlichen Prozessen in Verbindung stehen und auf dieselben influieren. Liegt nun übrigens etwas Berechtigtes in der oben dargestellten Auffassung, daſs alle psychische Thätigkeit nur in verschiedenen Äuſserungsformen der Aufmerksamkeit besteht, so ist es also eigentlich die Stärke der letzteren, die durch die relative Arbeitsverminderung gemessen wird. Eine ganz interessante Konsequenz läſst sich hieraus ziehen. Eine psychische Arbeit, z. B. die Lösung einer Rechenaufgabe, kann von dem hierin Geübten auf höchst verschiedene Weise ausgeführt werden. Man kann langsam und gründlich, mit voller Aufmerksamkeit rechnen, so daſs man der Richtigkeit des Fazits ganz sicher ist; man kann aber auch schnell und oberflächlich rechnen, indem man die Zahlen schnell überblickt; das Fazit kann auch in diesem Falle richtig werden, nur fühlt man sich dessen nicht ganz sicher. Zwischen diesen beiden Äuſserlichkeiten liegen natürlich viele Zwischenstufen, mit gröſserer oder geringerer Gründlichkeit des Ausrechnens und den daraus folgenden Graden der Sicherheit, was die Richtigkeit des Fazits betrifft. Alle diese vielen Stadien sollten sich also — der dargestellten Auffassung zufolge — eigentlich nur durch die stärkere oder schwächere Konzentration der Aufmerksamkeit unterscheiden, und für diese sollten wir nun an *M*, der relativen Verminderung der gleichzeitigen körperlichen Arbeit, ein Maſs besitzen. Es wird gewiſs von Interesse sein, diese Konsequenz einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen.

Bekanntlich ist es nicht leicht — oder vielmehr, es ist ganz unmöglich, — eine Arbeit mit einem willkürlich festgestellten Grade der Aufmerksamkeit auszuführen. Man kann die Aufmerksamkeit völlig auf eine Arbeit konzentriert halten, oder man kann diese mit einem Minimum der Aufmerksamkeit verrichten, zwischen diesen beiden Grenzen einen bestimmten Grad der Aufmerksamkeit mit Sicherheit festzustellen, ist aber nicht möglich. Bei einem Experimente der erwähnten Art

Digitized by Google

wird man deshalb ganz natürlich darauf angewiesen sein, die beiden Grenzfälle, das Maximum und das Minimum der Aufmerksamkeit, und darauf irgend ein Zwischenstadium zu prüfen, von dem man indes durchaus nicht mit Sicherheit wissen kann, ob es in den beiden Versuchen das gleiche wird. Besteht die psychische Arbeit in der Lösung einer Aufgabe im Kopfrechnen, so sichert man sich das Maximum der Aufmerksamkeit am besten, wenn man verlangt, dafs das Fazit der Aufgabe behalten und richtig angegeben wird. Das Minimum der Aufmerksamkeit erlangt man leicht, wenn man die Aufgabe möglichst schnell durchläuft, ohne die geringste Gewifsheit von der Richtigkeit der Berechnung. Endlich wird man als Zwischenstadium zwischen den beiden Grenzen passend das Verfahren benutzen können, das bei allen unseren vorhergehenden Versuchen zur Anwendung kam, indem man nämlich die Aufgabe sicher rechnet, ohne jedoch darauf auszugehen, sich des Fazits zu erinnern. Wir betrachten nun eine Versuchsreihe, die sämtliche drei genannte Fälle umschliefst.

Pl. XXIII, B. d. 14/10. A. L. Arbeit I: 8372 × 17. Arbeit II: 4591 × 18. Sehr flüchtig durchgerechnet.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	56,7	46,5	10,2	0,18
» II	26,4	21,4	5,0	0,19

Pl. XXIII, C. d. 14/10. A. L. Arbeit I: 8392 × 17. Arbeit II: 7654 × 18. Sicher gerechnet ohne Erinnerung des Fazits.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	53,9	39,4	14,5	0,27
» II	39,9	25,1	14,8	0,37

Pl. XXIII, D. d. 14/10. A. L. Arbeit I: 4672 × 18. Arbeit II: 3791 × 17. Die Fazite richtig angegeben.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	92,5	48,2	44,3	0,48
» II	68,9	33,5	35,4	0,51

Diese Versuche sind in mehreren Beziehungen interessant. Da die Aufgaben in allen Fällen gleicher Art und möglichst gleicher Schwierigkeit waren, lassen die verschiedenen Resultate sich direkt miteinander ver-

Digitized by Google

gleichen. Es erweist sich nun erst, wie zu erwarten stand, dafs die Werte von *M* mit dem Grade der zur Lösung der Aufgabe angewandten Aufmerksamkeit variieren. *M* wird am kleinsten bei dem flüchtigen Durchrechnen, am gröfsten bei dem sorgfältigen Ausrechnen mit Erinnerung des Fazits. Zwischen diesen Grenzen liegt der dritte Fall, und der Unterschied zwischen den Werten von *M* ist kein geringer; das Maximum ist fast dreimal so grofs als das Minimum.

Ganz von unseren theoretischen Erwartungen abgesehen, kann dieses Resultat uns durchaus nicht in Erstaunen setzen; dasselbe wurde schon längst auf einem ganz anderen Wege als dem hier eingeschlagenen experimentell festgestellt. In einer sehr sorgfältigen Untersuchung über »Ablenkbarkeit und Gewöhnungsfähigkeit«[1] wies R. Vogt, der norwegische Psychiater, nach, wie die verschiedenen psychischen Arbeiten in höchst verschiedenem Grade dadurch beeinflufst werden, dafs man zugleich andere, mehr mechanische Arbeiten ausführt. Als störende Nebenarbeiten wurden die Reaktion gegen bestimmte Schläge des Metronoms, das Hersagen auswendig gelernter Gedichte u. dgl. angewandt. Die Hauptarbeiten, die untersucht wurden, waren teils Wahrnehmungen (das Auffassen sinnloser Silben oder einzelner Buchstaben eines Textes), teils Additionen von Zahlenreihen, teils das Auswendiglernen von Zahlen oder Silben. Als Mafs für den störenden Einflufs der Nebenarbeit auf die Hauptarbeit benutzte Vogt das Verhältnis zwischen dem Quantum Arbeit, das geleistet wurde, wenn keine Störung stattfand, und derjenigen Menge, die geliefert wurde, wenn zugleich die störende Nebenarbeit vorging. Es erwies sich nun hierdurch, dafs die blofse sinnliche Wahrnehmung durch eine gleichzeitige Nebenarbeit gar nicht beeinflufst wurde; dagegen trat bei den logisch-associativen Prozessen, auf denen das Rechnen mit Zahlen beruht, eine Störung deutlich hervor, und diese wurde überdies um so gröfser, je gröfsere Forderungen an das Gedächtnis gestellt wurden. Ihr Maximum erreichte die Störung bei der reinen Gedächtnisarbeit, dem Auswendiglernen.

---

[1] Kraepelin: Psychologische Arbeiten. Bd. III. S. 62 u. f.

Digitized by Google

Es ist leicht zu ersehen, dafs die Reihenfolge, die Vogt für die verschiedenen psychischen Arbeiten fand, ganz dieselbe ist, die oben mittels der Verminderung der körperlichen Arbeit nachgewiesen wurde. In der That untersuchten Vogt und ich dieselben Erscheinungen; nur wandten wir auf den gegenseitigen Einflufs der Haupt- und der Nebenarbeit verschiedenes Mafs an. Wir bestimmen beide, um wieviel die Menge der Hauptarbeit dadurch vermindert wird, dafs die Nebenarbeit gleichzeitig stattfindet; der Unterschied ist nur der, dafs sowohl Haupt- als Nebenarbeit bei Vogt psychischer Art war, während ich als Hauptarbeit körperliche Leistungen vorzog. Thatsächlich wird also die Wechselwirkung der beiden Arbeiten gemessen, und das Resultat wird daher ganz natürlich dasselbe. Ob man die eine oder die andere Methode vorzieht, möchte wohl zunächst davon abhängen, was man aufzuklären wünscht. Hier, wo es sich nur um die Feststellung der Reihenfolge der verschiedenen psychischen Arbeiten handelt, ist diese Frage jedenfalls ohne allen Belang, da beide Methoden zu genau demselben Resultate führen. Wir können deshalb, da die Richtigkeit des Resultats auf zweifache Weise verbürgt ist, folgenden Satz aufstellen:

Die relative Arbeitsverminderung wird um so gröfser, je mehr die psychische Arbeit die Aufmerksamkeit beansprucht. Namentlich erweist es sich, dafs vorzüglich die Gedächtnisarbeit die Konzentration der Aufmerksamkeit erheischt, weshalb diese Art Arbeit auch die gröfste Verminderung der körperlichen Arbeit bewirkt.

Noch ein anderer wichtiger Schlufs läfst sich aus der angegebenen Versuchsreihe ableiten. Vergleichen wir nämlich die für die beiden Arbeiten in demselben Ergogramme gefundenen Werte von M miteinander, so zeigt sich ein wesentlicher Unterschied in der Genauigkeit der Bestimmungen bei den verschiedenen Graden der Aufmerksamkeit. Beim Minimum der Aufmerksamkeit fanden wir für M 0,18 und 0,19; beim Maximum 0,48 und 0,51. In beiden diesen Fällen stimmen die beiden Werte so gut miteinander überein, wie es sich

Digitized by Google

überhaupt nur irgend erwarten liefs. Denn kleine Zufälligkeiten sind bei diesen Versuchen ja keineswegs ausgeschlossen. Selbst wenn die Rechenaufgaben so gemacht sind, dafs sie gleiche Schwierigkeiten darzubieten scheinen, kann man doch nicht sicher sein, dafs nicht einzelne der darin vorkommenden Multiplikationen der V-P leichter fallen als andre. Kommt hierzu noch ferner die ganz unberechenbare gröfsere oder geringere Aufgelegtheit u. dgl., so wird es einleuchten, dafs man identische Zahlen in zwei Versuchen dieser Art nicht erwarten darf. So kleine Unterschiede wie die oben gefundenen (0,01 und 0,03) fallen ganz gewifs innerhalb der Grenzen der zufälligen Fehler, und wir finden bei diesen beiden Graden der Aufmerksamkeit also wirklich konstante Werte von *M*. Anders verhält es sich dagegen im dritten Falle, der eine nicht näher bestimmbare Zwischenstufe zwischen dem Maximum und dem Minimum der Aufmerksamkeit repräsentiert. Man besitzt, wie oben gesagt, durchaus kein Mittel, um sicher zu gehen, dafs man genau denselben Grad der Aufmerksamkeit hervorbringt, sobald es sich nicht um das Maximum oder das Minimum handelt. Der Versuch zeigt denn auch, dafs wir gerade in diesem Falle ziemlich grofse Differenzen zwischen anscheinend ganz gleichartigen Arbeiten erhalten; jedenfalls ist der Unterschied zwischen 0,27 und 0,37 zu grofs, um als rein zufälliger Fehler betrachtet werden zu können. Und selbst wenn dieser Fehler ungewöhnlich grofs ist, zeigen doch alle unsere früheren, auf dieselbe Weise ausgeführten Messungen, dafs der Unterschied zwischen den zusammengehörenden Werten von *M* durchgängig zwischen 0,05 und 0,08 liegt. Es geht also hieraus hervor, dafs die Art und Weise, wie die psychische Arbeit bei allen diesen früheren Versuchen ausgeführt wurde, streng genommen so ungeeignet war, wie nur irgend möglich. Da nichtsdestoweniger bestimmte Gesetzmäfsigkeiten deutlich zum Vorschein kommen, fand ich mich nicht bewogen, die Versuche zu verwerfen.

Wir verstehen jetzt also, weshalb die zusammengehörenden Werte von *M* bei allen vorhergehenden Versuchen durchweg ziemlich grofse Abweichungen zeigen; dies liegt ganz einfach daran, dafs es nicht

Digitized by Google

möglich ist, denselben Grad der Aufmerksamkeit herzustellen, wenn nicht entweder das Maximum oder das Minimum verlangt wird. Hierin liegt nichts Sonderbares; seit den ersten Tagen der psychophysischen Versuche weifs man dies, weshalb man stets das Maximum der Aufmerksamkeit verlangt, da man sich hierdurch nicht nur einen konstanten Grad der Aufmerksamkeit, sondern auch zugleich die genaueste Auffassung der zu beobachtenden Erscheinung sichert. Es erübrigt noch die Erklärung, weshalb der gröfsere Wert von *M* fast immer der Arbeit II zufällt. Wenn der Grad der Aufmerksamkeit von einem Versuche zum anderen variiert, müfste man eigentlich erwarten, den gröfseren Wert von *M* ebenso häufig in Arbeit I als in Arbeit II zu finden; es zeigt sich indes empirisch, dafs dies nicht der Fall ist. Die Frage ist also die: weshalb wurde Arbeit II durchweg mit gröfserer Aufmerksamkeit ausgeführt als Arbeit I? Die Selbstbeobachtung beantwortet diese Frage auf sehr befriedigende Weise. Nach Ausführung der Arbeit I hat man das Gefühl, dafs man die Aufgabe nicht mit so grofser Sicherheit gelöst hat, wie man es hätte thun können. Dies »Gefühl« ist ganz richtig, denn da die Aufmerksamkeit nicht maximal konzentriert war, müfste man bei gespannterer Aufmerksamkeit gröfsere Sicherheit erreichen können. Da nun stets das sichere Ausrechnen der Aufgabe verlangt wurde, strengt man sich unwillkürlich bei der Arbeit II gründlicher an, eben weil man erkennt, dafs man das erste Mal vielleicht nicht ganz befriedigend arbeitete. Und da zwischen den einzelnen Ergogrammen wegen der Ermüdung der Muskeln gewöhnlich eine Pause von etwa einer Stunde gemacht werden mufs, wiederholt sich dasselbe beim nächsten Doppelversuche, weil man aufser stande ist, den zuletzt angewandten Grad der Aufmerksamkeit in der Erinnerung festzuhalten. Es wird daher verständlich, dafs man bei der Arbeit II fast immer gründlicher, mit etwas mehr gespannter Aufmerksamkeit, als bei Arbeit I arbeiten wird, und somit ist der gröfsere Wert von *M* gegeben.

Eine rein praktische Konsequenz hiervon ist es, dafs man bei vergleichenden Versuchen dieser Art, wo es auf gröfsere Genauigkeit ankommt, stets entweder mit

Digitized by Google

dem Maximum oder dem Minimum der Aufmerksamkeit arbeiten sollte. Gleich im Folgenden werden wir hiervon Gebrauch machen.

Wir haben jetzt gesehen, wie die relative Arbeitsverminderung mit der psychischen Arbeit variiert; es erübrigt noch die Untersuchung, ob sie nicht auch von der körperlichen Arbeit, speziell von dem Takte, in welchem diese ausgeführt wird, abhängig ist. Bei allen angeführten Messungen war der Takt beständig 40 pr. Min., und die Zahlen lassen sich deshalb miteinander vergleichen, weil sie unter diesen Verhältnissen von der psychischen Arbeit allein abhängig werden. Es ist nun die Frage, ob diese Zahlen nur relative Bedeutung haben, so dafs man bei einem anderen Takte andere Zahlengröfsen finden würde, oder ob die gefundenen Werte des *M* von dem zufällig gewählten Takte unabhängig sind, so dafs sie als konstante Mafse der ausgeführten psychischen Arbeiten Bedeutung erhalten. Wie es sich hiermit verhält, kann natürlich nur durch Versuche entschieden werden, von deren wahrscheinlichem Ausfalle wir uns indes a priori eine Vorstellung zu bilden vermögen. Solange der Takt so schnell ist, dafs die psychische und die körperliche Arbeit gleichzeitig ausgeführt werden müssen, kann der Takt keinen Einflufs erhalten. Jede einzelne Partialarbeit mufs in diesem Falle um eine bestimmte, von der gleichzeitig ausgeführten psychischen Arbeit abhängige Gröfse vermindert werden, und die relative Verminderung der gesamten körperlichen Arbeit wird mithin konstant, ganz davon unabhängig, ob in einem mehr oder weniger schnellen Takte gearbeitet wird. Anders dagegen, wenn der Takt so langsam wird, dafs man sich in der Hauptsache nur mit der psychischen Arbeit zu beschäftigen hat, während die körperliche blofs als kurze, regelmäfsige Störung eintritt. In letzterem Falle mufs die relative Arbeitsverminderung zweifelsohne viel geringer werden als im ersteren, eben weil man während der längeren zeitlichen Zwischenräume ziemlich ungestört arbeiten kann und nur in einem einzelnen Momente die Aufmerksamkeit auf die störend eingreifende körperliche Arbeit zu richten braucht. Die beiden verschiedenartigen Arbeiten werden hier zunächst abwechselnd

Digitized by Google

ausgeführt, so dafs sie in weit geringerem Grade aufeinander zu influieren vermögen.

Dafs diese Betrachtungen richtig sind, geht aus den Versuchen nun auch deutlich hervor. Ich führe erst zwei Ergogramme an, die zur Illustration des Einflusses dienen, welchen ein geringer Unterschied des Taktes auf die relative Arbeitsverminderung erhält.

Pl. XXIV, A. d. 10/10. A. L. Takt 30 pr. Min. Arbeit I: 52941 × 14; Arbeit II: 64783 × 13. Beide Arbeiten möglichst schnell durchgerechnet.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	58,2	45,1	13,1	0,22
» II	37,2	29,8	7,4	0,20

Pl. XXIV, B. d. 10/10. A. L. Takt 40 pr. Min. Arbeit I: 64783 × 14; Arbeit II: 52941 × 13. Beide Arbeiten möglichst schnell durchgerechnet.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	68,8	57,9	10,9	0,16
» II	34,3	27,3	7,0	0,20

In diesen Versuchen wurde, wie angegeben, ein Minimum der Aufmerksamkeit bei den psychischen Arbeiten angewandt, um möglichst konstante Werte zu erhalten. Die Schwankungen von *M* innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen sind denn auch nicht grofs, 0,04, bzw. 0,02. Diese Gröfsen, die also als zufällige Fehler zu betrachten sind, übersteigen die Abweichung zwischen den beiden Gruppen. Der mittlere Wert von *M* in den beiden Versuchsgruppen ist nämlich 0,21, bzw. 0,18, die Differenz derselben 0,03. Das heifst mit anderen Worten, dafs der verschiedene Takt keinen nachweisbaren Unterschied der relativen Arbeitsverminderung bewirkt hat, was mit unseren oben angestellten Betrachtungen völlig übereinstimmt. Nehmen wir dagegen einen sehr langsamen Takt, so stellt sich die Sache anders. Die V-P selbst merkt den langsamen Takt als eine Erleichterung, indem es nun keine Schwierigkeit bereitet, sogar gröfsere Rechenaufgaben vollständig zu lösen und das Fazit zu behalten. Trotzdem werden die Werte von *M* sehr klein.

Digitized by Google

Pl. XXIV, C. d. 31/8. A. L. Takt 12 pr. Min. Aufgabe 657×34; vollständig ausgerechnet mit Angabe des Fazits.

$A_s = 71{,}3 \quad A_r = 55{,}8 \quad A_s - A_r = 15{,}5 \quad M = 0{,}22$

Pl. XXIV, D. d. 10/8. Dr. B. Takt 12 pr. Min. Arbeit I: 657×34; Arbeit II: 392×43; Arbeit III: 876×35. Alle drei Arbeiten ausgerechnet mit Angabe des Fazits.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Arbeit I	51,1	42,3	8,9	0,17
» II	41,5	31,4	10,1	0,24
» III	44,3	33,3	11,0	0,25

Vergleichen wir diese Bestimmungen mit den Ergogrammen Pl. XXII, A und B, wo Aufgaben von derselben Schwierigkeit bei einem Takte von 40 pr. Min. gelöst wurden (siehe S. 206—8), so zeigt es sich, daſs der Wert von *M* bei dem langsameren Takte bis auf die Hälfte oder ein Drittel des Wertes bei dem schnelleren Takte sinkt. Und bei dem langsameren Takte bleibt obendrein das Fazit im Gedächtnisse, was sich in dem anderen Falle als unmöglich erwies. Wären die Aufgaben in beiden Fällen auf dieselbe Weise gelöst worden, so würden die Werte von *M* einen noch gröſseren Unterschied zeigen. Soll die relative Arbeitsverminderung als Maſs für die psychische Thätigkeit zu gebrauchen sein, so muſs man also dafür sorgen, den Takt so schnell zu nehmen, daſs die psychische und die körperliche Arbeit wirklich gleichzeitig ausgeführt werden. Bleibt diese Bedingung unerfüllt, so werden die beiden Arbeiten, die physische und die psychische, zunächst abwechselnd ausgeführt werden, und ihr gegenseitiger Einfluſs aufeinander ist dann sehr gering.

Die relative Arbeitsverminderung, die eine gegebene psychische Thätigkeit bewirkt, ist unabhängig vom Takte, von dem zeitlichen Zwischenraum zwischen den einzelnen Partialarbeiten, wenn dieser nur so kurz gemacht wird, daſs die körperliche und die psychische Arbeit gleichzeitig vorgehen. Wird die Pause dagegen so lang, daſs die Aufmerksamkeit konstant auf die psychische Arbeit

konzentriert werden kann und nur in einzelnen Momenten auf die körperliche gerichtet ist, so wird die Arbeitsverminderung sehr klein und läfst dieselbe sich schwerlich als Mafs der psychischen Thätigkeit anwenden.

Verschiedene Versuche einer Erklärung. Die gesetzmäfsige Weise, wie die relative Arbeitsverminderung mit der psychischen Thätigkeit variiert, macht es ganz unzweifelhaft, dafs die Bewufstseinserscheinungen auf irgend eine Art die Arbeitsverminderung bewirken. Es wird also die Frage, wie diese Einwirkung zu stande kommt. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ein Weg, auf dem die Einwirkung möglicherweise vorgehen könnte, sind die durch die psychische Thätigkeit hervorgebrachten Störungen des Blutumlaufs. In der Einleitung wurde erwähnt, dafs Féré glaubt, eine Übereinstimmung zwischen der Arbeitsänderung und der Änderung des Volumens des Armes, die von einer gegebenen psychischen Thätigkeit herrührt, gefunden zu haben. Nun ist diese Übereinstimmung allerdings ein reines Postulat, für welches durchaus kein Beweis geführt wird, und überdies ist die Erklärung eine höchst unwahrscheinliche, da es weit näher liegt, zwischen den zentralen Prozessen (der motorischen Innervation und dem psychophysiologischen Vorgang) eine direkte Wechselwirkung anzunehmen; nur auf Grundlage apriorischer Vermutungen läfst die Möglichkeit sich aber doch nicht abweisen. Es ist also zu untersuchen, ob die plethysmographisch nachgewiesenen Veränderungen des Blutumlaufs im Arm möglicherweise die Ursache der Verminderung der Muskelarbeit sein könnten.

Die sicherste Entscheidung dieser Frage wird auf experimentellem Wege zu erreichen sein, indem gleichzeitig Plethysmogramme und Ergogramme von derselben Hand aufgenommen werden. Die praktischen Schwierigkeiten, die hier eintreten könnten, lassen sich leicht überwinden. Nichts verwehrt uns, einen Plethysmographen an beiden Enden offen zu machen, so dafs er um den Arm geführt werden könnte und die Hand frei liefse; somit wäre es also möglich, ein Plethysmogramm des gleichzeitig am Ergographen arbeitenden

Digitized by Google

Armes aufzunehmen. Es ist aber nicht nötig, einen derartigen Versuch anzustellen, denn wir haben bereits hinlängliche Erfahrungen, dafs kein brauchbares Resultat herauskommt. Jede noch so kleine Bewegung des im Plethysmographen eingeschlossenen Arms bewirkt der Erfahrung gemäfs Volumschwankungen, welche die durch Veränderungen des Blutumlaufs bewirkten weit übersteigen. Wollte man daher ein Plethysmogramm aufnehmen, während zugleich die Muskeln der Hand maximal angespannt würden, so würde das Plethysmogramm nur die Volumveränderungen der Muskeln zeigen, und alle anderen Veränderungen würden völlig verwischt werden. Es würde deshalb auch unmöglich zu ersehen sein, welche Veränderung des Armvolumens eine gleichzeitige psychische Arbeit hervorriefe. Eine direkte experimentelle Beantwortung der Frage vermögen wir also nicht zu erzielen.

Glücklicherweise bedürfen wir, meines Erachtens, auch keines neuen empirischen Materials, um die Sache zu entscheiden; unser Wissen ist völlig genügend, um hier sichere Schlüsse ziehen zu können. In dem arbeitenden Arm sind die Gefäfse gespannt, stark mit Blut angefüllt, und die Zirkulation ist lebhaft. Die Ausführung einer psychischen Arbeit bewirkt Veränderungen des Armvolumens, deren gesetzmäfsiger Verlauf uns wohlbekannt ist (vgl. I. Teil. S. 62—69). Sollen diese Volumveränderungen nun die Verminderung der körperlichen Arbeit verursachen, so leuchtet es ein, dafs sie wenigstens mit der verursachten Arbeitsverminderung gleichzeitig sein müssen, und jedenfalls nicht später als diese eintreten dürfen. Alle unsere Ergogramme zeigen indes, dafs die Arbeitsverminderung in demselben Momente beginnt, da die Aufmerksamkeit auf die psychische Arbeit gerichtet wird. Sogleich nach Anfang der letzteren zeigt die erste Partialarbeit eine Verminderung, so dafs die längste Zeit, die zwischen dem Anfang der psychischen Thätigkeit und deren Äufserung im Ergogramme verflossen sein kann, also der Zeitraum zwischen zwei Partialarbeiten, bei allen unseren Versuchen höchstens 1.5 Sek. beträgt. Meistens wird die Zeit doch wahrscheinlich nur Bruchteile einer Sekunde betragen. Alle unsere Plethysmogramme (vgl. I. Teil. Atlas. Tab. XV

Digitized by Google

bis XVII) zeigen aber, dafs mehrere, durchschnittlich 3—4 Sekunden verlaufen, bis sich eine Verminderung des Armvolumens spüren läfst. Es mufs deshalb als unmöglich betrachtet werden, dafs die Veränderungen des Blutzuflusses nach dem Arm die Ursache der Arbeitsverminderung sein können, denn diese tritt mehrere Sekunden früher ein, als die Störungen des Blutumlaufs sich nachweisen lassen. Hierzu kommt noch ein anderer Umstand. Genau in dem Augenblick, da die psychische Arbeit vollendet ist, steigen die Partialarbeiten wieder, was aus allen unseren Ergogrammen hervorgeht. Die Plethysmogramme zeigen aber keine besondere Volumveränderung in demselben Momente. Mitunter hat der Arm lange vor der Beendigung der psychischen Arbeit sein normales Volumen erreicht; mitunter befindet sich das Armvolumen beim Aufhören der psychischen Arbeit in allmählichem Steigen, man findet aber nie eine jähe Volumveränderung in diesem Augenblick. Wie ist es möglich, dafs die Zirkulationsveränderungen die plötzliche Vermehrung der körperlichen Arbeit verursachen können, wenn solche Veränderungen gar nicht in dem Moment, da die Arbeitsvermehrung eintritt, vorgehen? Von einem Kausalitätsverhältnisse zwischen diesen beiden Erscheinungen kann offenbar gar keine Rede sein.

Da zwischen den Störungen des Blutumlaufs im Arm und den Veränderungen der Gröfse der körperlichen Arbeit, die durch eine gegebene psychische Thätigkeit hervorgerufen werden, durchaus keine zeitliche Übereinstimmung stattfindet, können die Änderungen der Arbeit nicht durch Schwankungen der Ernährung der arbeitenden Muskeln verursacht sein.

Nach diesem Ergebnisse steht eigentlich nur die Möglichkeit offen, dafs der zentrale psychophysiologische Prozefs auf irgend eine Weise die motorische Innervation direkt hemmt, was natürlich eine Verminderung der Muskelarbeit zur Folge hat. Welchen Gesetzen gemäfs diese Hemmung vorgeht, und wie sie überhaupt zu stande kommt, wird im Folgenden die Aufgabe unserer Untersuchung werden. Da man von den zentralen Prozessen aber so äufsert wenig Zuverlässiges

Digitized by Google

weiſs, wollen wir den Anfang damit machen, daſs wir eine psychologische Erklärung der Erscheinung suchen, die uns möglicherweise den zu Grunde liegenden physiologischen Prozessen auf die Spur bringen kann.

Eine psychologische Erklärung der besprochenen Thatsachen würden wir erlangt haben, wenn es uns nachzuweisen glückte, daſs die Variationen der relativen Arbeitsverminderung sich als einfache Konsequenzen aus bekannten Gesetzen für irgend eine psychische Thätigkeit ableiten lieſsen. Die psychische Thätigkeit, von der hier die Rede sein kann, ist wohl keine andere als die Aufmerksamkeit; wir haben ja direkt nachgewiesen, daſs die relative Arbeitsverminderung, ***M***, um so gröſser wird, je mehr die Aufmerksamkeit sich auf eine gegebene psychische Arbeit konzentriert. ***M*** scheint aber doch nicht ausschlieſslich von der Aufmerksamkeit abhängig zu sein, denn wir fanden ja ebenfalls, daſs ***M*** um so gröſser wird, je schwieriger die psychische Arbeit ist. Näher betrachtet haben wir hier jedoch mit gar keinem neuen Faktor zu thun, denn daſs eine psychische Arbeit schwieriger ist als eine andere, bedeutet nur, daſs sie gröſsere Anspannung, d. h. stärkere Konzentration der Aufmerksamkeit erfordert. In wie hohem Grade eine Arbeit die Aufmerksamkeit beansprucht, das ist also teils von der Natur der Arbeit abhängig, teils aber auch von den mannigfachen, subjektiven Momenten, die wir in eine einzige Bezeichnung: »das Interesse« zusammenfassen können. Genauer können wir das Verhältnis so ausdrücken: der Grad der Aufmerksamkeit ist eine Funktion zweier unabhängiger Variabeln, nämlich der Art der Arbeit und des Interesses des Individuums. Beide diese Gröſsen können, wie leicht zu ersehen, ganz voneinander unabhängig variieren, und somit variiert auch der Grad der Aufmerksamkeit. Je gröſser das Interesse ist, mit dem man sich an eine gegebene Arbeit macht, um so mehr wird sich die Aufmerksamkeit auf dieselbe konzentrieren; bei konstantem Interesse bewirken die verschiedenen Arbeiten verschiedene Konzentration der Aufmerksamkeit. Von dieser Auffassung aus ist es verständlich, daſs wir für den Grad der willkürlichen Aufmerksamkeit und die Schwierigkeit der verschiedenen

Digitized by Google

psychischen Arbeiten ein gemeinschaftliches Maſs, die Gröſse M, haben können. Schon der Umstand, daſs diese Verhältnisse kommensurabel sind, zeigt deutlich genug, daſs es hier ein gemeinschaftliches Begründendes geben muſs. Dieses Gemeinschaftliche ist also, der hier aufgestellten Auffassung zufolge, die Aufmerksamkeit, deren Konzentrationsgrad durch alle beide genannten Verhältnisse im Verein bestimmt wird. Und da experimentell nachgewiesen ist, daſs die relative Arbeitsverminderung von dem Grade der Aufmerksamkeit abhängt, wird dieselbe folglich auch von den Verhältnissen abhängig, welche den Grad der Aufmerksamkeit bestimmen, mithin zugleich ein Maſs für diese Verhältnisse. Hierdurch wird es also verständlich, daſs wir M früher als Maſs für die Schwierigkeit der verschiedenen psychischen Arbeiten anwenden konnten.

Wir können leicht einen klaren Überblick über die Verhältnisse erhalten, wenn wir alle im Vorhergehenden angegebenen Bestimmungen von M in einem einzigen Schema sammeln. Dieses ist in der Tab. 33 gegeben, welche die Mittel der von der V-P A. L. ausgeführten Messungen enthält. Die Kolonne links gibt die verschiedenen Arten der Arbeit an, nach abnehmender Schwierigkeit von oben abwärts geordnet. In den wagerechten Reihen sind die drei verschiedenen Grade der Aufmerksamkeit angeführt, die sich überhaupt zum Gegenstand der Untersuchung machen lassen, und jede einzelne Rubrik enthält das Mittel der ausgeführten Bestimmungen nebst dem mittleren, den Bestimmungen anhaftenden Fehler. So bezeichnet z. B. $0{,}58 \pm 0{,}04$, daſs $M = 0{,}58$, und daſs die mittlere Schwankung der einzelnen Bestimmungen 0,04 ist. Die darunter stehenden ganzen Zahlen bezeichnen die Anzahl der Messungen, deren Mittel genommen wurde. Zur Berechnung der Tabelle benutzte ich das gesamte Versuchsmaterial, das mir überhaupt hinsichtlich der betreffenden V-P zur Verfügung stand; vieles wurde hier also mitgenommen, das in den beigeschlossenen Planen nicht wiedergegeben ist und also auch nicht im Vorhergehenden besprochen wurde [1].

[1] Diese kleine Tabelle ist natürlich nur als erster Entwurf zu einer Messung der verschiedenen psychischen Thätigkeiten zu be-

Digitized by Google

Aus der Tab. 33 geht nun erstens der früher erwähnte Unterschied der Genauigkeit der Bestimmungen hervor. Beim Maximum und Minimum der Aufmerksamkeit — den beiden Graden, die sich mit Sicherheit festhalten lassen — ist der mittlere Fehler nur klein und annähernd eine konstante Gröfse. Bei den dazwischenliegenden Graden, die sich nicht präzisieren lassen, und die deshalb von Versuch zu Versuch wechseln, wird der mittlere Fehler demgemäfs durchweg viel gröfser. Was für uns indes die gröfste Bedeutung hat,

trachten; hier ist noch viel auszurichten. Ich suchte z. B. zu bestimmen, eine wie grofse Arbeitsverminderung das blofse Behalten eines Rechnungsfazits bewirkt. Hierbei ging ich von folgender Betrachtung aus. Da es möglich ist, eine Aufgabe sicher zu rechnen und das Fazit zu behalten, mufs es auch möglich sein, flüchtig zu rechnen und die herausgekommenen Zahlen zu behalten. Bewirkt nun die reine Gedächtnisarbeit eine bestimmte Arbeitsverminderung, so sollte also der Umstand, dafs man das Fazit behält, in beiden Fällen die gefundene Arbeitsverminderung um eine konstante Gröfse vermehren. Um dies zu prüfen, versuchte ich es, eine Aufgabe (Addition von vier dreistelligen Zahlen) möglichst schnell zu lösen, zugleich aber das Fazit zu behalten. Dies war schwer, weil die beiden Operationen, das Rechnen und das Behalten, sehr verschiedene Anspannung der Aufmerksamkeit erforderten. Das Resultat wurde denn auch, wie zu erwarten stand, ein ziemlich unsicheres; als Mittel von zwei Versuchen erhielt ich $M = 0{,}17 \pm 0{,}05$. Wird diese Gröfse mit den in Tab. 33 angeführten Zahlen für dieselbe Art Arbeit zusammengestellt, so bekommen wir folgendes Schema:

	ohne Behalten	mit Behalten	Differenz
flüchtig gerechnet	0,10	0,17	0,07
sicher gerechnet	0,19	0,26	0,07

Die Gedächtnisarbeit scheint also, ohne Rücksicht darauf, wie man rechnet, die Arbeitsverminderung um eine konstante Gröfse zu vermehren, die mithin das Mafs für die Gedächtnisarbeit selbst wird. Diese wird natürlich um so gröfser, je mehr zu behalten ist, und man wird folglich durch Zahlen angeben können, wie die Arbeit mit der Menge des zu behaltenden Stoffes anwächst. Es war meine Absicht, diese Untersuchung weiter zu führen, aus Eifer und Interesse für die Versuche strengte ich meine linke Hand aber so übermäfsig an, dafs ich jetzt nicht im stande bin, ein Ergogramm ohne starke Schmerzen im Arm auszuführen. Vorläufig habe ich deshalb weitere Versuche einstellen müssen, welches traurige Faktum ich nur anführe, um anderen Forschern Vorsicht zu empfehlen. Nicht zu viele Ergogramme täglich, und kundige Behandlung der Hand und des Arms mit Massage nach jedem Ergogramm, es sei denn, dafs man gerade die remanente Ermüdung zu untersuchen wünsche.

Digitized by Google

Tab. 33.

Art der Arbeit	Die Aufmerksamkeitskonzentrationen		
	Minimum	unbestimmte Zwischenstufe	Maximum
Multiplikation 3-stelliger Zahlen mit 2-stelligen über 20	0,21 ± 0,02 2	0,58 ± 0,04 2	
Multiplikation mehrstelliger Zahlen mit 2-stelligen unter 20	0,19 ± 0,015 6	0,32 ± 0,05 2	0,50 ± 0,015 2
Addition von sechs 5-stelligen Zahlen	0,18 ± 0,02 3	0,31 ± 0,04 4	
Addition von vier 3-stelligen Zahlen	0,10 ± 0,013 3	0,19 ± 0,03 3	0,26 ± 0,005 2

ist die aus der Tabelle klar hervorgehende Thatsache, dafs jede psychische Arbeit einen Grad der Aufmerksamkeit erfordert, der ausschliefslich durch die Natur der Arbeit bestimmt wird und von der durch das Interesse bestimmten willkürlichen Konzentration der Aufmerksamkeit ganz unabhängig ist. Die Tab. 33 zeigt nämlich, dafs selbst wenn die Aufmerksamkeit im Minimum ist, *M* dennoch mit der Schwierigkeit der Arbeit zunimmt. Es gelingt also gar nicht, eine bestimmte psychische Arbeit auszuführen, wenn man derselben nicht einen gewissen, mit der Schwierigkeit der Arbeit variierenden Grad der Aufmerksamkeit schenkt. Oder mit anderen Worten: man sieht, dafs das Minimum der Aufmerksamkeit nur so lange eine konstante Gröfse ist, wie es sich um eine Arbeit ganz bestimmter Beschaffenheit handelt; verändert sich die Art der Arbeit, so variiert hiermit auch das Minimum der Aufmerksamkeit, ohne welches die Arbeit sich überhaupt nicht ausführen läfst. Wir können nun also feststellen:

Der Wert, den *M* bei der Ausführung einer gegebenen psychischen Arbeit annimmt, ist ausschliefslich von dem Grade der Aufmerksamkeit abhängig, mit welchem die Arbeit ausgeführt wird, weshalb er sich als Mafs dieses Grades anwenden läfst. Der Grad der Aufmerksamkeit ist wieder bestimmt teils durch die Natur der Arbeit, indem jede ein-

Digitized by Google

zelne Arbeit ein notwendiges Minimum erheischt, und teils durch das Interesse, das eine vermehrte Konzentration der Aufmerksamkeit bewirkt.

Da die relative Arbeitsverminderung mithin ausschliefslich von der Aufmerksamkeit abhängig ist, lautet die Frage also, ob wir aus den bekannten Gesetzen für die Aufmerksamkeit die Thatsache ableiten können, dafs die körperliche Arbeit abnimmt, wenn gleichzeitig eine psychische Arbeit ausgeführt wird. Aufserdem sollte es zu erklären sein, weshalb die körperliche Arbeit um so geringer wird, je mehr die Aufmerksamkeit sich auf die psychische richtet. Eine solche psychologische Erklärung zu geben, scheint nun auch nicht schwer zu sein. Denn, wie wir wissen, äufsert sich die Aufmerksamkeit besonders dadurch, dafs sie durch ihre Konzentration auf einzelne Vorstellungen andere aus dem Bewufstsein verdrängt, und dafs sie durch ihre Verteilung unter mehrere Bewufstseinszustände jeden derselben weniger klar hervortreten läfst. Dieses Verhalten ist bisher zwar nur rücksichtlich der eigentlichen Bewufstseinszustände, der Vorstellungen und Gefühle, nachgewiesen, indes liegt die Annahme nahe, dafs dasselbe auch von anderen zentralen Erscheinungen, u. a. also von den motorischen Innervationen der willkürlichen Muskeln gilt. Es wird um so mehr berechtigt, dem Gesetze auch auf diesem Gebiete Gültigkeit beizulegen, da die Innervation der willkürlichen Muskeln nach der wahrscheinlichsten Erklärung gerade auf die Weise zu stande kommt, dafs die Aufmerksamkeit sich auf ein Bewegungsbild, auf das muskuläre Erinnerungsbild früher ausgeführter Muskelbewegungen konzentriert. Ist diese Auffassung richtig, so ist hiermit ganz gewifs auch die Erklärung aller im Vorhergehenden nachgewiesenen Thatsachen gegeben. Wenn die maximale Innervation einer bestimmten Muskelgruppe die volle Konzentration der Aufmerksamkeit auf ein Bewegungsbild erfordert, so leuchtet es ein, dafs man die Aufmerksamkeit nicht zugleich auf eine psychische Arbeit gerichtet halten kann, ohne die Innervation — und somit die ausgeführte Muskelarbeit — zu vermindern. Und zugleich ist es klar, dafs je mehr die

Digitized by Google

Aufmerksamkeit auf die psychische Arbeit gerichtet wird, folglich um so weniger Aufmerksamkeit für die körperliche Arbeit übrigbleiben kann, weshalb diese um so mehr abnehmen mufs. Demnach scheinen also die wesentlichsten unserer experimentell nachgewiesenen Thatsachen den bekannten Gesetzen für die Aufmerksamkeit direkt unterworfen zu sein. Es wird mittels einer mehr exakt mathematischen Darstellung sogar leicht nachzuweisen sein, weshalb es die relative und nicht die absolute Arbeitsverminderung werden mufs, die bei wachsender Ermüdung der Muskeln konstant ist, wenn eine konstante »Menge« Aufmerksamkeit von einer bestimmten psychischen Arbeit beansprucht wird. Ich werde mich jedoch nicht näher hierauf einlassen, denn obschon die Erklärung sich sogar in Kleinigkeiten durchführen läfst, solange von Arbeiten mit nur einer Hand die Rede ist, erweist sie sich doch beim Arbeiten mit beiden Händen als ganz unzulänglich, mithin als unhaltbar.

Wenn wir mit der einen Hand maximal arbeiten, scheint diese Arbeit die völlige Konzentration der Aufmerksamkeit zu verlangen. Dies deutet wenigstens der Umstand an, dafs eine wenn auch nur sehr geringe Zerstreuung der Aufmerksamkeit, das flüchtige Durchrechnen einer leichten Aufgabe, sogleich eine nachweisbare Arbeitsverminderung bewirkt. Die Konsequenz hiervon scheint die werden zu müssen, dafs wir nicht gleichzeitig mit beiden Händen maximal arbeiten könnten. Die Arbeit jeder einzelnen Hand müfste abnehmen, wenn die Aufmerksamkeit auf die beiden Arbeiten verteilt wird. Dies ist absurd, denn die weitere Verfolgung des Gedankens führt dahin, dafs je mehr Muskeln gleichzeitig innerviert würden, jeder einzelne um so weniger Arbeit leisten könnte, was den Erfahrungen des täglichen Lebens durchaus widerspricht. Es fällt auch nicht schwer, nachzuweisen, dafs die Arbeiten der beiden Hände durchaus voneinander unabhängig sind. Von einer kleinen Störung im Anfangsmomente abgesehen, wird die maximale Arbeit der einen Hand gar nicht auf die der anderen influieren. Ich habe mit Experimenten dieser Art nicht so gar wenig Zeit verloren, weil die psychologische Erklärung der Erscheinungen

Digitized by Google

mir so natürlich und einfach vorkam, dafs es lange dauerte, bis ich mich mit dem Gedanken versöhnte, sie sei dennoch unhaltbar. Sie fordert notwendigerweise, dafs die Arbeit der einen Hand, wenn auch nur ganz wenig, auf die der anderen Hand influiere, die Erfahrung zeigt aber das Gegenteil. Die Plane XXV—XXVII geben eine Reihe von Ergogrammen zur Aufklärung der Sache wieder. Bei diesen Versuchen benutzte ich zwei Ergographen, die dicht nebeneinander auf zwei Tischen angebracht wurden, so dafs die Richtungen der Züge an den beiden Apparaten einen Winkel von ungefähr 60° bildeten. Bringt die V-P sich nun im Scheitelpunkte des Winkels an, so wird sie bequem mit beiden Apparaten zugleich arbeiten können, und man kann die Versuche nun mannigfach variieren, um den gegenseitigen Einflufs der beiden Arbeiten aufeinander zu prüfen. Man kann z. B. anfangs beide Hände arbeiten lassen; während darauf die eine aufhört, arbeitet die andere ungestört weiter, worauf die erstere wieder anfafst. Oder auch kann man mit einer Hand allein anfangen; etwas später tritt die andere hinzu, um bald wieder aufzuhören. Endlich kann man auch mit einer Hand allein anfangen, die andere hinzutreten lassen und dann etwas später mit ersterer aufhören u. s. w. Diese verschiedenen Methoden wurden bei den Ergogrammen der Plane XXV—XXVII angewandt. Bei meinen Versuchen setzte immer die linke Hand als die geübtere die Arbeit fort, während die rechte nur in geeigneten Augenblicken hinzutrat. Wir bekommen also stets zwei zusammengehörende Ergogramme, ein ununterbrochenes für die linke und ein unterbrochenes für die rechte Hand. In den genannten Planen ist das Ergogramm der linken Hand überall unten angebracht, während das der rechten Hand in der rechten Stellung darüber steht, so dafs die gleichzeitigen Partialarbeiten in derselben Linie übereinander stehen. Ich bemerke noch, dafs die hier aufgenommenen Ergogramme nur einen sehr geringen Teil des ganzen mir zur Verfügung stehenden Materials betragen. Ich wählte diejenigen aus, welche am meisten auf einen gegenseitigen Einflufs der beiden Arbeiten deuteten: indem wir nun diese Kurven einzeln durchgehen, wird

es sich erweisen, dafs das Resultat dennoch ziemlich zweifelhaft ist.

Pl. XXV, B. d. 29/3. Fnn. Arbeit abwechselnd mit der einen und mit beiden Händen.

Pl. XXV, C. d. 10/4. Fnn. Anfangs die linke, später auch die rechte Hand.

Ich stelle diese beiden Ergogramme an die Spitze, weil sie die einzigen sind, in denen der gegenseitige Einflufs ganz unbestreitbar ist. Diese spezielle Stellung verdanken die beiden Kurven wahrscheinlich dem Umstand, dafs die V-P noch an den Folgen der früher erwähnten Influenza litt. Diese Krankheit bewirkt gewifs nicht so gar selten eine Schwächung des Zentralorgans, und eine solche deuten die beiden Kurven auch an. Im Pl. XXV, B zeigt sich der wechselseitige Einflufs der beiden Arbeiten zunächst darin, dafs die Partialarbeiten im Ergogramme der rechten Hand übermäfsig klein geworden sind. Obgleich die rechte Hand nicht ermüdet war, und das Ergogramm folglich mit Partialarbeiten von annähernd derselben Höhe wie die der Partialarbeiten der linken Hand beginnen sollte, ist die Höhe dennoch durchweg weit geringer, indem die Partialarbeiten ungefähr dieselbe Gröfse haben wie die gleichzeitigen Partialarbeiten der ermüdeten linken Hand. Aufserdem zeigt das Ergogramm der linken Hand eine geringe Verminderung, solange die rechte Hand arbeitet. Pl. XXV, C gibt uns ein ganz anderes Bild. Das Ergogramm der rechten Hand beginnt hier, wie zu erwarten stand, mit Partialarbeiten derselben Gröfse wie das Ergogramm der linken Hand, und im letzteren ist auch kein Einflufs der gleichzeitigen Arbeit der rechten Hand zu spüren, von einer geringen Senkung abgesehen, die gleich beim Eingreifen der rechten Hand zu sehen ist. Später, wenn die linke Hand aufhört, steigen die Partialarbeiten der rechten Hand aber ziemlich bedeutend. In beiden diesen Versuchen ist ein wechselseitiger Einflufs der Arbeit der beiden Hände also unzweifelhaft, er ist allerdings aber so klein, dafs es schwer halten wird, seine Gröfse zu bestimmen. Dies hat denn auch kein grofses Interesse, da die Erscheinung rein vorübergehend war; in dem letzteren der beiden Ergogramme, das 14 Tage später

Digitized by Google

als das erstere genommen wurde, hat die Wirkung augenscheinlich schon abgenommen. Und bei den anderen Versuchspersonen, deren Ergogramme wir jetzt betrachten werden, läſst sich keine Spur von einem derartigen wechselseitigen Einflusse nachweisen.

Pl. XXVI, A. d. $^{31}/_{8}$. Dr. B. Arbeit abwechselnd mit beiden Händen und mit der linken Hand allein.

Pl. XXVI, B. d. $^{2}/_{4}$. Dr. B. Arbeit abwechselnd mit der linken Hand allein und mit beiden Händen.

Diese beiden Ergogramme sind völlig typisch, nicht nur für diese V-P, sondern auch für die folgende, A. L. Man sieht, daſs das Ergogramm der linken Hand ebenso gleichförmig und regelmäſsig ist, wie es sein würde, wenn es für sich allein ausgeführt wäre. Ob die rechte Hand zugleich arbeitet oder auch nicht, hat gar keinen Einfluſs hierauf. Nur eben am Übergange, indem die rechte Hand eingreift, findet sich eine kurze Senkung im Ergogramm der linken Hand, das gleich darauf wieder bis zur normalen Höhe ansteigt. An einer einzelnen Stelle sieht man auſserdem eine kleine Störung derselben Art eintreten, indem die rechte Hand aufhört. Ganz dasselbe ist, wie gesagt, in den ziemlich zahlreichen, von A. L. ausgeführten Versuchen zu gewahren. Es liegt folglich kein Grund vor, auch für letztere V-P Kurven wiederzugeben. Die beiden Ergogramme Pl. XXVII wurden nur mitgenommen, weil sie Ausnahmen sind, die vielleicht einen geringen Einfluſs andeuten könnten.

Pl. XXVII, A. d. $^{31}/_{8}$. A. L. Arbeit abwechselnd mit beiden Händen und mit der linken Hand allein.

Hier findet sich ein deutliches Steigen des Ergogramms der linken Hand während des Zeitraums, in welchem die rechte Hand nicht arbeitet. Ich glaube jedoch, daſs dieses Steigen eine rein illusorische Erscheinung ist, die nur von einer Unregelmäſsigkeit im Ergogramm der linken Hand herrührt. Man sieht nämlich, daſs das Steigen beginnt, bevor die rechte Hand mit dem Arbeiten aufhört, und es ist daher nicht besonders wahrscheinlich, daſs das Steigen hierdurch verursacht sein sollte. Wahrscheinlich hat irgend ein zufälliger Umstand die im Ergogramme der linken Hand sichtbare Senkung bewirkt, und indem diese Senkung

Digitized by Google

fast gleichzeitig damit aufhört, dafs die rechte Hand die Arbeit einstellt, hat es den Anschein, als ob dieser Umstand auf die Arbeit der linken Hand influierte. Etwas Ähnliches ist mit dem anderen Versuche der Fall.

Pl. XXVII, B. d. $^{2}/_{4}$. A. L. Arbeit abwechselnd mit der linken Hand allein und mit beiden Händen.

Es zeigt sich hier eine kleine Senkung im Ergogramme der linken Hand während des Arbeitens der rechten Hand. Diese Senkung fängt aber später an und hört früher auf als die Arbeit der rechten Hand, so dafs ein Kausalnexus der beiden Erscheinungen wenigstens zweifelhaft ist. Das Ergebnis dieser Versuche wird also:

Maximale Arbeit der einen Hand wird nicht durch gleichzeitige maximale Arbeit der anderen Hand beeinflufst. Nur im Augenblicke des Übergangs, indem die eine Hand anfängt oder aufhört, zeigt sich meistens eine kleine Störung im Ergogramm der anderen Hand. Ein länger anhaltender gegenseitiger Einflufs der Arbeit der beiden Hände läfst sich jedenfalls mit Sicherheit nur bei Personen nachweisen, die durch Krankheit geschwächt sind.

Soweit ich zu sehen vermag, läfst dieses Ergebnis sich nicht durch das Gesetz von der Teilung der Aufmerksamkeit psychologisch erklären, da letzteres mit Notwendigkeit gegenseitigen Einflufs erfordert. Jedenfalls ist das Gesetz durch die Klausel zu beschränken, dafs gleichzeitige gleichmäfsige Innervation symmetrisch gelegener Muskelgruppen keine Teilung der Aufmerksamkeit verlangt. Die Arbeit der einen Hand erhält man also ganz unentgeltlich. Wie wird es aber gehen, wenn man mit beiden Händen arbeitet und zugleich eine Rechenaufgabe löst? Es bedarf hierzu eines gewissen Grades der Aufmerksamkeit, und folglich wird die körperliche Arbeit vermindert werden, wie wird die Verminderung sich aber unter die beiden Hände verteilen? Wird das eine Ergogramm unverändert bleiben, während sich im anderen die gesamte Verminderung zeigt, oder verteilt die Verminderung sich gleichmäfsig

Digitized by Google

auf beide Ergogramme? Nur die Erfahrung kann diese Frage beantworten; zu welchem Resultate wir aber auch gelangen möchten, so leuchtet es ein, dafs dasselbe sich psychologisch nicht erklären läfst. Denn das Resultat erklären, will nur heifsen: nachweisen, dafs es mit Notwendigkeit aus bekannten Sätzen hervorgeht. Aus dem Gesetze von der Teilung der Aufmerksamkeit läfst sich aber über dieses Verhältnis durchaus nichts folgern, mithin kann das Gesetz auch das empirisch gefundene Resultat nicht erklären. — Die beiden folgenden Versuche werden genügen, um zu erhellen, wie es thatsächlich um die Sache steht.

Pl. XXVIII, A und *B*. d. 31/8. Dr. B. Addition von sechs fünfstelligen Zahlen. *A* das Ergogramm der rechten, *B* das der linken Hand.

	A_s	A_v	$A_s - A_v$	M
Rechte Hand	57,0	46,9	10,1	0,18
Linke »	66,5	53,6	12,9	0,19

Während sowohl die wahrscheinliche als die thatsächlich verrichtete Arbeit, mithin auch die absolute Arbeitsverminderung, ziemlich verschiedene Werte für die beiden Hände zeigt, erhalten wir doch fast identische Werte für *M*, die relative Arbeitsverminderung. Die psychische Arbeit hat also auf beide Ergogramme gleich stark influiert. Wir vergleichen nun die gefundenen Gröfsen von *M* mit den Werten, die man für psychische Arbeit derselben Art erhalten würde, wenn nur die eine Hand gearbeitet hätte. Pl. XXI, D zeigt ein unter diesen Verhältnissen von derselben V-P ausgeführtes Ergogramm. Hier ist $M = 0{,}17$ und 0,23 (vgl. S. 208); hiermit stimmen unsere neuen Werte offenbar völlig überein. Wird mit beiden Händen gearbeitet, so bewirkt eine gegebene psychische Arbeit also dieselbe relative Arbeitsverminderung in jedem einzelnen Ergogramm, die man bekommt, wenn mit nur einer Hand gearbeitet wird. Dieses Resultat erweist sich als konstant.

Pl. XXVIII, C und *D*. d. 31/8. A. L. Addition von sechs fünfstelligen Zahlen. *C* das Ergogramm der rechten, *D* das der linken Hand.

Digitized by Google

	A_s	A_e	$A_s - A_e$	M
Rechte Hand	81,6	60,8	20.8	0,26
Linke »	85,2	61,6	23,6	0,28

Wir erhalten also wieder identische Werte für M. Die Gröſse von M, wenn die linke Hand allein arbeitet, geht aus Pl. XXI, C (vgl. S. 206) hervor. Hier fanden wir $M = 0{,}33$ und 0,38. Die Übereinstimmung ist hier freilich keine so groſse wie bei dem oben erwähnten Versuche, da der Unterschied zwischen 0,28 und 0,33 aber nicht gröſser ist als der zufällige Fehler, 0,05, mit dem, wie wir sehen, die Messungen der Arbeit einer Hand behaftet sind, dürfen wir diese verschiedenen Werte dennoch als gleichgroſs betrachten. Da es sehr schwierig ist, den Grad der Aufmerksamkeit, bei welchem alle diese Messungen ausgeführt wurden, unverändert zu erhalten, läſst sich eine bessere Übereinstimmung eigentlich nicht erwarten.

Wenn mit beiden Händen zugleich gearbeitet wird, bewirkt eine bestimmte psychische Arbeit in beiden Ergogrammen dieselbe relative Arbeitsverminderung, und deren Gröſse ist dieselbe, die man erhält, wenn nur mit der einen Hand gearbeitet wird.

Dieses Resultat kann man, wenn man will, gern als eine Folge des oben nachgewiesenen Verhältnisses betrachten, daſs gleichzeitige, gleichartige Innervation symmetrisch gelegener Muskelgruppen keine Teilung der Aufmerksamkeit erfordert. Die eine Hand führt ganz dasselbe aus, wie die andre, ohne zu verlangen, daſs die Aufmerksamkeit sich ihr speziell zukehrte. Aber weshalb? Psychologisch läſst diese Thatsache sich offenbar nicht erklären. Es kann wohl keinen Zweifel erleiden, daſs das psychologische Gesetz, auf welches wir uns stützten, nur annäherungsweise richtig ist. Dasselbe ist der unvollständige und ungenaue Ausdruck, den die Selbstbeobachtung für die Veränderungen findet, welche während einer sogenannten Konzentration der Aufmerksamkeit im Zentralorgan vorgehen. Da wir die Aufmerksamkeit durchaus nicht beobachten können, sondern nur deren psychische Resultate kennen, ist es leicht verständlich, daſs wir zu keinem genauen psycho-

Digitized by Google

logischen Ausdruck dessen, was vorgeht, gelangen können. Ein wirkliches Verständnis werden wir erst dann haben, wenn wir im stande sind, die physiologischen Veränderungen anzugeben, deren psychische Wirkungen wir als das Unbekannte: die Aufmerksamkeit, zu bezeichnen pflegen. Im folgenden Abschnitte wird nun auf Basis der hier gewonnenen Erfahrungen ein Versuch gemacht werden, der Natur der Aufmerksamkeit auf den Grund zu kommen.

DIE PSYCHODYNAMISCHEN GRUNDTHATSACHEN.

Hydrodynamische Analogien. Alle im Vorhergehenden hervorgezogenen Thatsachen in betreff des wechselseitigen Einflusses verschiedener psychischer und körperlicher Arbeiten aufeinander befinden sich in völliger Übereinstimmung mit dem, was man an jeder Kraftmaschine beobachten kann, deren freie Energie angewandt wird, um verschiedene Arbeiten zugleich zu verrichten. Um dies nachzuweisen, können wir als Beispiel eine Dampfmaschine, ein galvanisches Element, eine fliefsende Wassermasse oder irgend eine beliebige Einrichtung nehmen, die während jeder Zeiteinheit eine konstante Energiemenge zu freier Verfügung liefert. Da die Sache aber um so leichter verständlich wird, je weniger zusammengesetzt die Maschine ist, und je leichter wir deshalb den Energieumsatz zu verfolgen vermögen, wählen wir die möglichst einfache Maschine: zwei miteinander in Verbindung stehende Wassermassen in verschiedenem Niveau. Der kleine Apparat, den wir nun beschreiben werden, hat vor komplizierteren Apparaten überdies den Vorteil voraus, dafs er sich zu Versuchen bei Vorlesungen gebrauchen läfst, indem er den wechselseitigen Einflufs der verschiedenen Arbeiten unmittelbar veranschaulicht.

Wir nehmen eine grofse Mariotteflasche *F* (Fig. 4) und bringen sie mit Wasser angefüllt in der Höhe von

Digitized by Google

ein paar Meter über dem Tische an. Wegen ihres Platzes repräsentiert sie jetzt eine gewisse Energiemenge; wir würden die gesamte Energie in Arbeit umgesetzt erhalten können, wenn wir die Flasche aus derselben Höhe, bis zu der sie emporgehoben wurde, hinabfallen liefsen. Das thun wir aber nicht; dagegen setzen wir eine seitliche Öffnung unten an der Flasche mit einem langen, weiten Gummischlauch, *S*, in Verbindung. Lassen wir das Wasser durch diesen abfliefsen, so verstreicht gewisse Zeit, bis die Flasche geleert ist. Von der gesamten in der Flasche enthaltenen potentiellen Energie wird in jeder Sekunde folglich nur eine gewisse Menge zur Arbeitsleistung disponibel. Die disponible oder freie Energie[1] ist bestimmt durch $mv^2/2$, wo m die pr. Sekunde abfliefsende Menge der Flüssigkeit, v die Geschwindigkeit des Abflusses bezeichnet. Wir können die strömende Flüssigkeit auf ein Wasserrad oder eine Turbine wirken lassen und hierdurch Arbeit geliefert erhalten, wir können aber auch die

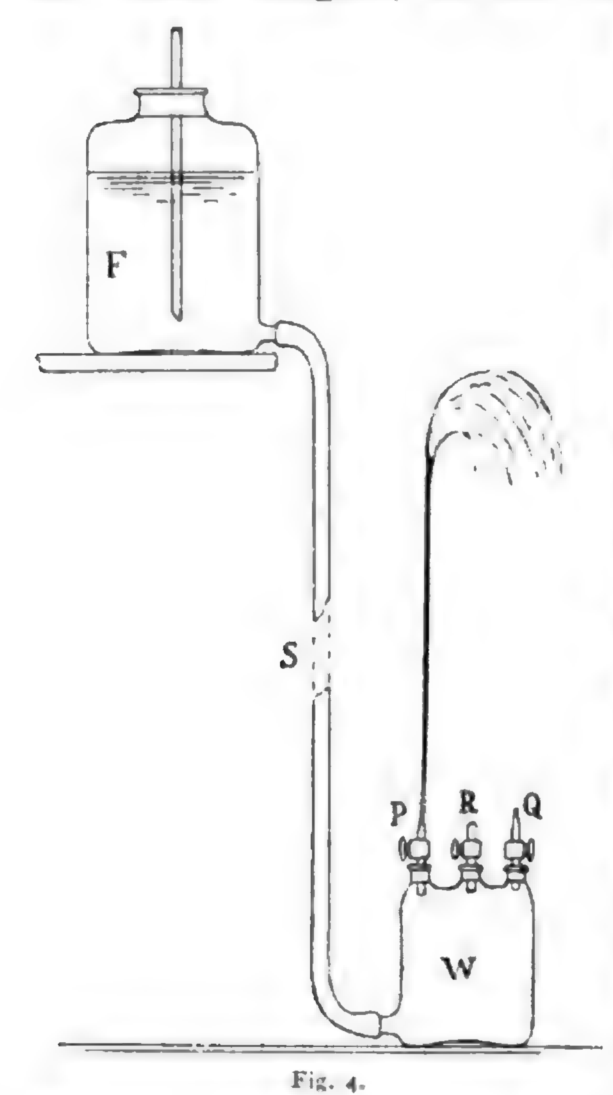


Fig. 4.

Flüssigkeit direkt arbeiten lassen, indem wir sie zu einem Springbrunnen gebrauchen. Zu diesem Zwecke

[1] Wenn ich im Folgenden die Ausdrücke »disponible« und »freie« Energie ohne Unterschied gebrauche, geschieht dies nicht aus Unachtsamkeit, sondern weil wir auf dem physiologischen Gebiete doch nicht im stande sind, die feinen Unterscheidungen der Physik durchzuführen. Indem ich die beiden Wörter als gleichbedeutend gebrauche, wollte ich zunächst nur pointieren, dafs ich unter freier Energie nicht den scharf definierten Begriff der Physik verstehe, denjenigen Teil der Totalenergie, welcher sich frei in andere Energieformen umsetzen

Digitized by Google

setzen wir die untere Öffnung des Gummischlauches in Verbindung mit einer dreihalsigen Flasche *W*, in deren drei Hälsen Röhren von verschiedener Weite, *P*, *Q* und *R* angebracht sind. Diese Röhren können durch Hähne verschlossen werden. Zwei der Röhren, *P* und *Q*, sind zu sehr feinen Haarröhrchen ausgezogen, die dritte hat durchweg eine Weite von einigen Millimetern. Ist die Flasche *W* nun ganz mit Wasser gefüllt und sind die Hähne geschlossen, so befindet sich die Flüssigkeit in Ruhe. Öffnen wir aber z. B. die Röhre *P*, so strömt hier die Flüssigkeit aus, und verrichtet eine Arbeit, indem der Strahl sich bis zu einer gewissen Höhe erhebt. Ist die Öffnung der Röhre *P* im Vergleich mit dem Querschnitte des Gummischlauchs *S* nun sehr klein, so leuchtet es ein, dafs während jeder Sekunde durch *P* nicht so viel Wasser fliefsen kann als durch *S*. Es kann daher nur ein geringer Teil der gesamten disponiblen Energie sein, der zur Erzeugung des Springbrunnens bei *P* verbraucht wird.

Durch Versuche können wir uns leicht überzeugen, dafs unsere Betrachtungen richtig sind, dafs wirklich nur ein geringer Teil der disponibeln Energie zum Springbrunnen angewandt wird. Eine gewisse Energiemenge kann nämlich, wie wir wissen, nur ein bestimmtes Quantum Arbeit leisten. Wird also die gesamte disponible Energie zur Erzeugung des Springbrunnens verbraucht, so kann dieselbe Energie nicht auch zu-

läfst. Eine derartige Sonderung hat ihre Bedeutung, solange man weifs, dafs wirklich ein Unterschied besteht. Dies gilt z. B. von unseren Maschinen, wo wir genau anzugeben vermögen, ein wie grofser Teil der Totalenergie frei umgesetzt werden kann. Beim galvanischen Elemente z. B. wird die elektromotorische Kraft als freie Energie bezeichnet, weil sie sich umsetzen läfst, was mit der zugleich entwickelten Wärme dagegen nicht der Fall ist. Wie es sich in dieser Beziehung aber mit dem Gehirn verhält, das wissen wir durchaus nicht. Es ist denkbar, dafs die Erwärmung des Gehirns während der psychischen Thätigkeit ein reiner Energieverlust wäre, es ist aber ebenfalls möglich, dafs die Wärmeentwickelung für die Entstehung der psychischen Phänomene wesentliche Bedeutung hätte und folglich als freie Energie zu betrachten wäre. Da uns hierüber gar nichts bekannt ist, ziehe ich daher den neutralen Begriff der »disponibeln« Energie vor und gebrauche das Wort »freie« Energie nur der Abwechselung wegen.

Digitized by Google

gleich eine andere Arbeit liefern. Dann mufs der Springbrunnen daher notwendigerweise niedriger werden, wenn wir einen Teil der Energie zu anderer Arbeit gebrauchen. Wird dagegen nur ein sehr geringer Bruchteil der disponibeln Energie zur Erzeugung des Springbrunnens verbraucht, so müssen wir einen Teil der überschüssigen freien Energie zu einer anderen Arbeit verwenden können, ohne dafs diese einen nachweisbaren Einflufs auf den Springbrunnen erhielte. Es erweist sich nun, dafs eben dies der Fall ist. Um uns hiervon zu überzeugen, müssen wir die Höhe des Springbrunnens messen. Dies ist nicht ganz leicht, weil der oberste Teil der Wassermassen sich in einen Fächer von Tropfen auflöst; stellt man aber einen Mafsstab senkrecht dicht an den Strahl, so kann man dennoch mit der Genauigkeit von ca. 1 cm beurteilen, wie hoch die obersten Tropfen steigen. Hierauf öffnen wir die zweite Sprungöffnung *Q* und erhalten aus dieser noch einen Springbrunnen. Es zeigt sich, dafs dieser auf die Höhe des ersten keinen mefsbaren Einflufs erhält. Hierdurch ist also bewiesen, dafs zu dem ersten Springbrunnen, *P*, nur ein sehr geringer Teil der totalen disponibeln Energie verbraucht wird, und ferner ziehen wir aus dem Versuche folgende Lehre:

Wenn zur Ausführung einer Arbeit nur ein geringer Teil der gesamten disponibeln Energie einer Maschine verbraucht wird, so hat der gleichzeitige Verbrauch einer anderen geringen Energiemenge keinen mefsbaren Einflufs auf die Gröfse der ersteren Arbeit.

Es erweist sich, dafs dieses Resultat völlig mit dem übereinstimmt, was wir vorher von dem wechselseitigen Einflusse gewisser gleichzeitiger, körperlicher und psychischer Arbeiten aufeinander fanden. Nehmen wir an, dafs zur maximalen Innervation der Muskeln der Hand nur ein sehr geringer Teil der gesamten freien Energie des Gehirns erforderlich sei. Aus dem angeführten Satze folgt dann direkt, dafs der gleichzeitige Verbrauch einer anderen geringen Energiemenge (z. B. zur Innervation der Muskeln der anderen Hand oder zur Leistung einer fortgesetzten Reihe von sinnlichen Wahrneh-

Digitized by Google

mungen) keinen Einfluſs auf die Arbeit der ersteren Hand erhält. Gerade dies zeigten uns aber unsere früheren Versuche. Weder sinnliche Wahrnehmung noch Arbeit mit der rechten Hand hatte Einfluſs auf das Ergogramm der linken Hand. Deshalb konnten wir mittels der ergographischen Methode auch kein Maſs für diese Arbeiten bekommen; hieraus darf man sich aber natürlich nicht zu der Annahme verleiten lassen, diese Arbeiten seien ohne Energieverbrauch zu erhalten. Der Vergleich mit den Springbrunnenversuchen zeigt gerade, daſs ein kleiner Energieverbrauch sehr wohl stattfinden kann, ohne auf einen anderen, gleichzeitigen Energieverbrauch meſsbaren Einfluſs zu bekommen. Selbstverständlich ist nur die praktische Messung unmöglich, denn in der Wirklichkeit müssen gleichzeitige Energieverbrauche stets einigen Einfluſs aufeinander üben. Eine theoretische Betrachtung, die wir an unsere Springbrunnenversuche knüpfen, wird uns leicht hiervon überzeugen.

Es sei die disponible Energie der Flasche $= e$, und es möge die Röhre P, wenn sie allein offen steht, hiervon $1/p$ verbrauchen. Öffnen wir nun zugleich die Röhre Q, so verbraucht auch diese ein wenig, sagen wir e/q. Zurück bleibt also $e - e/q = (q-1)\,e/q$. Dies ist also der übrigbleibende Teil der freien Energie, nachdem die Röhre Q das ihrige verbraucht hat; davon nimmt die Röhre P der Voraussetzung zufolge $1/p$, also:

$$\frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p}$$

Wäre dagegen die Röhre P allein geöffnet, so würde sie die Energiemenge e/p verbrauchen. Es ist nun leicht zu ersehen, daſs:

$$\frac{e}{p} > \frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p}$$

Folglich hat der Verbrauch bei Q eine Verminderung der Arbeit bei P bewirkt. Ist $1/q$ aber sehr klein, q also eine groſse Zahl, so muſs der Bruch $(q-1)/q$ sehr nahe an 1 liegen, und dann würden die beiden ungleichen Gröſsen praktisch genommen gleichgroſs sein, weil wir nicht im stande sind, den Unterschied zu messen. Wie groſs q sein muſs, damit ein Energieverbrauch keinen nachweisbaren Einfluſs auf den anderen erhalte, hängt

Digitized by Google

natürlich nur davon ab, wie fein wir messen. Dafs man aber in der Praxis, bei weniger feinen Mefsmethoden, leicht an den Punkt gelangt, wo wechselseitiger Einflufs nicht zu spüren ist, zeigten uns sowohl die Springbrunnenversuche als die ergographischen Messungen.

Die Übereinstimmung unserer Springbrunnenversuche mit den ergographischen Messungen, die wir hinsichtlich eines einzelnen Falles nachwiesen, läfst sich mit Bezug auf alle Punkte darthun. Sie läfst sich sogar bis in unwesentliche Einzelheiten verfolgen. Der angeführte Satz, dafs gleichzeitige kleine Energieverbrauche keinen nachweisbaren Einflufs aufeinander haben, ist nicht ganz richtig. Geben wir genau acht, wenn wir die Röhre *Q* öffnen, so werden wir sehen, dafs der Strahl *P* in demselben Augenblicke, da der andere Strahl emporschiefst, ein wenig sinkt. Dies dauert aber nur wenige Sekunden, dann erhebt er sich wieder bis zur vorigen Höhe. Die Erscheinung ist leicht zu erklären. Solange nur die Röhre *P* offen steht, strömt das Wasser mit bestimmter Geschwindigkeit aus *F* nach *W*. Öffnet man nun *Q*, so wird eine gröfsere Wassermasse verbraucht werden, weshalb der Druck in *W* geringer wird. Hieraus folgt nun teils, dafs die Höhe des Strahles *P* abnimmt, und teils, dafs das Wasser sich mit gröfserer Geschwindigkeit aus *F* nach *W* bewegt, weil diese Geschwindigkeit gerade von dem Unterschiede des Druckes an den beiden Punkten abhängig ist. Sobald das Wasser die durch die veränderten Druckverhältnisse bedingte Geschwindigkeit erreicht hat, steigt mithin der Strahl *P* wieder bis zur vorigen Höhe. Etwas ganz Ähnliches konstatierten wir oben von der Arbeit am Ergographen. Wenn die rechte Hand plötzlich anfafst, sieht man gewöhnlich im Momente des Übergangs eine geringe Senkung im Ergogramme der linken Hand, das aber sogleich wieder bis zur normalen Höhe steigt. Dies ist natürlich nur ein unwesentlicher Umstand, dem keine gröfsere Bedeutung beigelegt werden darf; indes zog ich diese Thatsachen hervor, um zu zeigen, wie vollständig die Übereinstimmung ist. Wir schreiten jetzt zur Betrachtung wichtigerer Ähnlichkeitspunkte.

Zuerst wollen wir den Einflufs untersuchen, den ein bedeutender Energieverbrauch auf die Höhe unseres

Digitized by Google

Springbrunnens erhält. Um die Verhältnisse in gröſserem Umfange variieren zu können, bringen wir an unserem Apparate eine kleine Verbesserung an. Diese besteht darin, daſs die Springbrunnenröhre *P* mit Haarröhrchen von verschiedener Länge und Weite versehen wird. Dies läſst sich leicht machen, wenn *P* nicht selbst in ein Haarröhrchen ausgezogen, sondern überall gleich weit und oben gerade abgeschnitten ist. Ziehen wir nun eine Glasröhre so aus, daſs sie in der Mitte ein Haarröhrchen wird, wie in Fig. 5 gezeigt, und durchschneiden wir dieselbe bei *c*, so haben wir also zwei Stückchen Glasröhre, die jedes für sich mittels eines kleinen Endchens Gummischlauch leicht mit *P* in Verbindung gebracht werden können, und die in Haarröhrchen mit genau derselben äuſseren Öffnung enden. Da der Schnitt *c* aber so gelegt ist, daſs ein Stück Haarröhrchen viel länger als das andere ist, so erhalten wir durch diese Röhren Springbrunnen von verschiedener Höhe, denn in dem längeren Haarröhrchen ist die Friktion gröſser als in dem kürzeren, und der Strahl aus ersterem muſs deshalb notwendigerweise geringere Höhe erreichen als der Strahl aus letzterem, indem das Wasser gröſseren Widerstand antrifft. Hiervon überzeugen wir uns leicht durch Versuche, indem wir abwechselnd das kurze und das lange Haarröhrchen an *P* anbringen und in beiden Fällen die Höhe des Springbrunnens über der Sprungöffnung messen. Nehmen wir an, daſs wir für das kurze Haarröhrchen (I) die Steighöhe 93 cm, für das lange (II) 42 cm finden. Wir untersuchen nun, welchen Einfluſs ein gröſserer Energieverbrauch auf unsere Springbrunnen hat, indem wir die weite Röhre *R* und darauf den Springbrunnen *P* völlig öffnen. Bildet nun das kurze Haarröhrchen (I) die Öffnung von *P*, so finden wir eine Höhe von 81 cm; die Steighöhe ist also um 12 cm vermindert[1]. Wie zu erwarten stand, hat also der gröſsere Energieverbrauch durch die weite Röhre *R*

c

Fig. 5.

[1] Eigentlich ist es wohl überflüssig, zu bemerken, daſs die hier angeführten Zahlen keine erdichteten sind, sondern aus Messungen hervorgehen; sonst würden sie ja durchaus nichts beweisen.

Digitized by Google

auf die anderweitig ausgeführte Arbeit influiert. Wir suchen nun ein Maſs für diese Arbeitsverminderung.

Die Arbeit, die eine strömende Flüssigkeit verrichtet, indem sie fast senkrecht durch eine feine Öffnung emporspringt, besteht darin, daſs ein gewisses Gewicht Wasser bis zu einer bestimmten Höhe gehoben wird. Die Arbeit wird also gemessen durch das Produkt des Gewichtes des Wassers und der Höhe, bis zu welcher dasselbe gehoben wird. Solange man dieselbe Sprungöffnung, mithin dieselbe Wassermenge hat, wird also die verrichtete Arbeit der Höhe proportional sein. In dem oben angeführten Beispiele wird folglich der Unterschied der Höhe, 12 cm, das Maſs der Arbeitsverminderung sein, die dadurch verursacht wird, daſs wir einen gewissen Teil der disponiblen Energie zu anderem Zwecke anwenden. Wie stellt sich aber das Verhältnis, wenn unser Springbrunnen gleich anfänglich eine andere Höhe gehabt hätte? Um dies zu untersuchen, bringen wir das Haarröhrchen II (das lange) an P an und öffnen R, ganz wie vorhin. Wir erhalten nun die Steighöhe 36 cm; wäre R nicht offen gewesen, so hätten wir, wie oben angegeben, die Höhe 42 cm gefunden. Der Unterschied der Höhe ist also 6 cm, nur die Hälfte der Gröſse, die wir für den anderen Springbrunnen fanden. Es ist aber leicht zu ersehen, daſs der relative Höhenunterschied konstant ist. Um den Überblick zu erleichtern, können wir die Zahlen zu einem Schema ordnen. Nennen wir die anfängliche Steighöhe A_s, die Höhe, die wir finden, wenn wir zugleich R öffnen, A_r, so haben wir:

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	$(A_s - A_r)\ A_s$
Haarröhrchen I	93	81	12	0,13
» II	42	36	6	0.14

Hieraus geht hervor, daſs der relative Unterschied der Höhe, d. h. die Höhenverminderung dividiert mit der anfänglichen Höhe, eine konstante Gröſse ist. Oder mit anderen Worten: die Verminderung der Höhe beträgt einen konstanten Bruchteil der anfänglichen Höhe. Daſs wir bei den beiden Versuchen nicht genau denselben Wert für den Bruch fanden, rührt natürlich davon her, daſs wir die Höhe der Springbrunnen nicht mit völliger Genauigkeit messen konnten. Folglich werden auch die daraus berechneten Gröſsen mit kleinen Fehlern

Digitized by Google

behaftet. Die Gröſse der Brüche selbst ist natürlich davon abhängig, ein wie groſser Energieverbrauch zugleich in anderen Richtungen stattfindet. Geben wir der Röhre *R* eine andere Weite, so werden wir auch für den relativen Höhenunterschied einen anderen Wert finden. Hiervon kann man sich leicht durch Umdrehen des Hahns an *R* überzeugen. Dadurch wird die Röhre verengert und der Energieverbrauch mithin verringert; zugleich nimmt die Höhe des Springbrunnens bei *P* zu. Nimmt aber A_r zu, so muſs die Gröſse $(A_s - A_t)/A_s$ abnehmen; der relative Höhenunterschied ist also davon abhängig, wie groſs der gleichzeitige andere Energieverbrauch ist. Als Resultat dieser Versuche können wir also folgendes feststellen:

Wenn zur Verrichtung einer Arbeit nur ein geringer Teil der gesamten disponibeln Energie einer Maschine verbraucht wird, so wird ein gleichzeitiger Verbrauch einer gröſseren Energiemenge zur Folge haben, daſs die erste Arbeit um einen konstanten Bruchteil vermindert wird; die Gröſse des Bruchteils ist davon abhängig, wie groſs der gleichzeitige Energieverbrauch ist.

Diese Versuche bieten augenfällige Übereinstimmung mit unseren ergographischen Messungen der Gröſse der psychischen Arbeiten dar. Von einer gegebenen psychischen Arbeit fanden wir, daſs sie eine Verminderung der gleichzeitigen körperlichen Arbeit bewirkt, und daſs diese Verminderung einen konstanten Bruchteil der Gröſse der körperlichen Arbeit beträgt, ohne Rücksicht auf das Stadium der Ermüdung, in welchem die arbeitenden Muskeln sich befinden. Dies stimmt völlig mit dem überein, was die Springbrunnenversuche zeigen. Die beiden verschiedenen Haarröhrchen entsprechen dem Muskel in zwei verschiedenen Stadien der Ermüdung. Das lange Haarröhrchen gibt gröſsere Friktion als das kurze, mithin geringere Steighöhe, ganz wie ein ermüdeter Muskel der Arbeit mehr widerstrebt als ein frischer Muskel, und deshalb Partialarbeiten von geringerer Höhe leistet als letzterer. Bei einem bestimmten Energieverbrauche wird die relative Arbeitsverminderung dennoch konstant — dies gilt vom Muskel,

Digitized by Google

wenn wir zu einer psychischen Arbeit Energie gebrauchen, ebensowohl als vom Springbrunnen, wenn wir zu einem anderen Springbrunnen Energie anwenden.

Theoretisch läfst dieses Resultat sich nun auch leicht begründen. Ist der Energieverbrauch durch die Röhre P, wenn diese allein offen steht, $A_s = e/p$, so wird der Verbrauch sinken bis auf:

$$A_r = \frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p}$$

wenn gleichzeitig eine andere Röhre geöffnet und durch diese e/q verbraucht wird. Die Arbeitsverminderung, welche das Öffnen der anderen Röhre bei P bewirkt, ist folglich:

$$A_s - A_r = \frac{e}{p} - \frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p} = \frac{e}{p}\left(1 - \frac{q-1}{q}\right) = \frac{1}{q} \cdot \frac{e}{p}$$

. . . . (Gleich. 56).

Dividieren wir diese Gröfse mit der anfänglichen Arbeit e/p, so bekommen wir die relative Arbeitsverminderung M:

$$\frac{A_s - A_r}{A_s} = M = \frac{1}{q} \cdot \frac{e}{p} : \frac{e}{p} = \frac{1}{q} \quad \text{. . . . (Gleich. 57).}$$

Hieraus geht hervor, dafs:

die relative Arbeitsverminderung M gerade der Bruchteil der gesamten disponibeln Energie ist, der zur anderen Arbeit angewandt wird.

Es liegt also nichts Sonderbares darin, wenn wir überall, sowohl bei den Springbrunnenversuchen als bei den ergographischen Messungen, fanden, dafs M mit der Gröfse der gleichzeitig verrichteten Arbeit variiert. M ist, wie wir sehen, kein willkürliches Mafs, sondern gibt gerade denjenigen Bruchteil der gesamten disponibeln Energie an, der von der zu messenden Arbeit verbraucht wird. Dafs dem wirklich so ist, können wir leicht durch einen Versuch mit dem Springbrunnen erfahren, wo wir im stande sind, die Gröfse der disponibeln Energie wie auch diejenige Menge derselben, welche durch eine der Röhren entladen wird, zu berechnen.

Gesetzt, wir finden durch Messungen, dafs die Leitung zwischen unseren beiden Flaschen durchweg eine

Digitized by Google

Weite von genau 9 mm hat. Nehmen wir nun ein kleines Stückchen einer Glasröhre, die eine Weite von gerade 4,5 mm hat, so wird das Querschnittsareal derselben also $1/4$ von dem der Leitung sein. Setzen wir diese Glasröhre in die Flasche bei R, so leuchtet ein, daſs eben $1/4$ der ganzen Wassermasse, die durch die Leitung flieſst, durch R abgeführt werden kann. Läſst man R ganz geöffnet bleiben, so wird also gerade $1/4$ der gesamten disponibeln Energie verbraucht werden, um den Springbrunnen durch diese Röhre zu bilden. Bei P und Q bringen wir zwei Haarröhrchen von ganz verschiedener Länge und Weite an. Wir messen nun successiv die Steighöhe A_s durch P bez. Q, während die beiden anderen Röhren verschlossen sind. Darauf öffnen wir R und messen die Steighöhe A_r für P bei verschlossenem Q und für Q bei verschlossenem P. In untenstehendem Schema sind die Ergebnisse dieser vier Messungen nebst den hieraus berechneten Gröſsen, $A_s - A_r$ und M, angegeben.

	A_s	A_r	$A_s - A_r$	M
Springbrunnen P	91	68	23	0,25
» Q	76	58	18	0,24

Wir sehen wieder, daſs die beiden Werte von M gleichgroſs und auſserdem gleich $1/4$ sind, was sie der Theorie zufolge auch sein sollten, da wir gerade $1/4$ der disponibeln Energie durch R verbrauchten. Die Erfahrung bestätigt unsere theoretischen Erwartungen also vollständig.

An diesen Versuch müssen wir indes einige Erwägungen knüpfen. Aus Gleich. 56 und 57 geht nämlich hervor, daſs $M = 1/q$, wenn wir den Energieverbrauch der Röhre P messen, während diese allein oder auch zugleich die Röhre R geöffnet ist, und darauf M aus der Gleichung:

$$M = \frac{A_s - A_r}{A_s} = \left(\frac{e}{p} - \frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p}\right) : \frac{e}{p} \quad \ldots . \text{(Gleich. 58)}$$

berechnen. Dies thaten wir aber ja, streng genommen, gar nicht. Wir maſsen nicht die beiden Energieverbrauche, sondern die aus denselben resultierenden Steighöhen, die allerdings, wie oben erwähnt, den bezüglichen Energieverbrauchen proportional sind. Es ist indes leicht zu ersehen, daſs man zu demselben Resultate, $M = 1/q$,

Digitized by Google

gelangen mufs, wenn man mit diesen Gröfsen statt mit den Energiemengen rechnet. Hierdurch hat man nämlich in der That nur die drei Gröfsen der Gleich. 58 mit einem konstanten Faktor multipliziert, der auf den Wert des M keinen Einflufs erhalten kann. Es ist also einerlei, ob man zur Berechnung der relativen Arbeitsverminderung M die Energiemenge selbst oder damit proportionale Gröfsen benutzt. Dagegen leuchtet es ein, dafs man nicht statt der wirklichen Energiemengen solche Gröfsen setzen darf, die willkürliche Funktionen derselben sind. Dann würde Gleich. 58 die Form annehmen:

$$M = \frac{A_s - A_r}{A_s} = \left[\varphi\left(\frac{e}{p}\right) - \varphi\left(\frac{q-1}{q} \cdot \frac{e}{p}\right)\right] : \varphi\left(\frac{e}{p}\right) \ldots . \text{(Gl. 59).}$$

Man sieht sogleich, dafs der aus Gleich. 59 berechnete Wert von M durchaus von der Beschaffenheit der Funktion φ abhängig sein würde. Ist letztere algebraisch, z. B. eine Potenz der bezüglichen Gröfsen, so kann M konstant, von e/p unabhängig, dagegen aber nicht gleich $1/q$ sein. Ist die Funktion keine algebraische, sondern z. B. logarithmisch, so wird M von e/p abhängig werden, und also keine konstante Gröfse sein. Es ist daher durchaus notwendig, darüber im reinen zu sein, in welchem Verhältnisse die gemessenen Gröfsen zu den thatsächlich stattfindenden Energieverbrauchen stehen, da man sonst nicht im stande ist, die Bedeutung des aus der Berechnung resultierenden M zu entscheiden.

Diese Betrachtungen haben, wie leicht zu verstehen, besonders die ergographischen Messungen der Gröfse der psychischen Arbeiten vor Augen. Wir fanden an jedem Punkte völlige Übereinstimmung der ergographischen Messungen mit den Springbrunnenversuchen, so dafs es keinen Zweifel erleiden kann, dafs eine psychische Arbeit auf die gleichzeitige Muskelinnervation influiert, und zwar ganz denselben Gesetzen gemäfs, die für jede Maschine gültig sind, welche für zwei verschiedene Arbeiten zugleich Energie liefert. Die relative Arbeitsverminderung, welche eine gegebene psychische Arbeit bewirkt, würde folglich gerade denjenigen Bruchteil der freien Energie des Gehirns angeben, der zur bestimmten psychischen Arbeit ver-

Digitized by Google

braucht wird, wenn die geleistete Muskelarbeit der zentralen Innervation proportional wäre. Wie wir zur Berechnung des ***M*** die Steighöhen statt der wirklichen Energieverbrauche anwenden können, so müssen wir auch statt der Energieentladungen in den motorischen Zentren die Gröfse der Muskelarbeit benutzen können — wenn nur die Bedingung erfüllt wird, dafs die Gröfse der Muskelarbeit stets den zentralen Energieentladungen, den motorischen Innervationen proportional ist. Hierüber wissen wir leider dessen aber nichts.

Die Frage nach der Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Stärke der Innervation ist schon der Gegenstand physiologischer Untersuchungen gewesen. Fick fand, dafs die Kontraktionshöhe des Muskels innerhalb ziemlich weiter Grenzen proportional zur Stärke der Stromstöfse, durch welche der motorische Nerv gereizt wurde, anwuchs. Da Preyer indes gegen die Anwendung der Muskeln, welche Fick zu seinen Untersuchungen gewählt hatte, Einwürfe erhob, fand Fick in einer anderen Versuchsreihe, dafs die Gröfse der Muskelkontraktion bei zunehmender Intensität des Stromes anfangs geschwind, später langsam zunimmt[1]. Die Sache ist also noch nicht entschieden worden, und spätere Untersuchungen über die Frage scheinen nicht vorzuliegen. Und selbst wenn derartige physiologische Versuche uns ganz unzweifelhafte Resultate gegeben hätten, wäre damit nicht einmal gesagt, dafs wir uns auf dieselben stützen dürften. Jedenfalls haben wir gar keine Garantie, dafs die künstliche Reizung eines motorischen Nervs dieselbe Wirkung hat wie die normale Innervation aus dem Zentralorgan. Es wäre z. B. sehr wohl denkbar, dafs die Muskelarbeit in annähernd logarithmischem Verhältnisse zur künstlichen Reizung, der normalen Innervation dagegen proportional zunehme. Denn es würde sogar ziemlich wahrscheinlich sein, dafs die Reizung des motorischen Nervs mit der Stärke des zur Reizung angewandten elektrischen Stromes nur logarithmisch anwüchse. Es ist uns also durchaus verwehrt, auf diesem Wege zur Lösung der uns interessierenden Frage zu gelangen.

[1] Untersuchungen über die elektrische Nervenreizung. 1869.

Digitized by Google

Da es sich darum handelt, zu erfahren, wie die Muskelarbeit mit der zentralen Innervation zunimmt, scheint folgendes Verfahren ans Ziel führen zu können. Man führt am Ergographen einen kleinen Zug von willkürlicher Gröfse, darauf einen ein wenig gröfseren Zug aus. Nach diesem sucht man einen dritten auszuführen, der No. 2 ebensoviel an Gröfse übertrifft, wie der zweite den ersten. Auf diese Weise fährt man fort, indem man der Innervation bei jedem Zuge denselben Zuwachs zu geben strebt. Die hieraus resultierenden successiven Arbeitsgröfsen werden also zeigen, wie die Muskelarbeit anwächst, wenn die Innervation um eine konstante Differenz zunimmt. Auf diese Weise liefs ich einige Versuche von einer Reihe von Versuchspersonen ausführen, die alle gute Beobachter und in psychologischen Experimenten geübt waren. Mit Bezug auf die meisten waren die gewonnenen Resultate erstaunlich regelmäfsig — leider sind sie zur Beantwortung der Frage aber gar nicht zu gebrauchen. Unter allen Versuchspersonen herrschte nämlich die schönste Einigkeit darüber, dafs für die Gröfse der successiven Züge rein periphere Empfindungen, Druck- und Muskelempfindungen, bestimmend waren. Auf andere Weise war eine Anpassung der Innervation gar nicht möglich. Die Versuche lehren uns also durchaus nichts über das Verhältnis der Muskelarbeit zur Innervation, dagegen zeigen sie, wie die Muskelarbeit zunehmen mufs, wenn die aus derselben resultierenden Druck- und Muskelempfindungen mit annähernd konstanter Differenz zunehmen sollen. Dies kann natürlich ebenfalls von Interesse sein, hat aber mit dem vorliegenden Probleme nichts zu thun, weshalb ich mich hier nicht näher darauf einlasse.

Da eine Entscheidung also nicht direkt zu erzielen war, verdiente es, untersucht zu werden, ob denn keine der im Vorhergehenden besprochenen Untersuchungen einen Beitrag zur Beantwortung leisten könnte. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dafs das oben nachgewiesene Gesetz für die Abhängigkeit der Arbeit von der Anzahl der Partialarbeiten zur Lösung des vorliegenden Problems durchaus nicht zu gebrauchen ist. Bei konstanter Innervation werden die successiven

Digitized by Google

Partialarbeiten wegen steigender Ermüdung der Muskeln an Gröſse abnehmen, hieraus läſst sich aber offenbar gar nichts darüber ableiten, wie die Gröſse der Arbeit eines Muskels mit der Innervation variiert. Dagegen scheint eben der Umstand, daſs die relative Arbeitsverminderung für eine gegebene psychische Arbeit konstant ist, in bestimmter Richtung zu deuten. Denn wir sahen oben, daſs man die Konstanz dieser Gröſse nur dann erwarten darf, wenn die gemessenen Gröſsen, aus denen sie berechnet wird, algebraische Funktionen derjenigen Energieverbrauche sind, welche eigentlich die Grundlage der Berechnung bilden sollten. Nun maſsen wir die Muskelarbeit, während wir die zentralen, motorischen Innervationen hätten messen sollen; nichtsdestoweniger erwies die relative Arbeitsverminderung sich als konstant. Dies würde unmöglich sein, wenn die Muskelarbeit in logarithmischem Verhältnisse zur Innervation zunähme; es wird hier ein einfaches algebraisches Verhältnis der beiden Gröſsen vorausgesetzt. Eine derartige Relation würde denn auch stattfinden, wenn die Muskelarbeit irgend einer Potenz der Intensität der Innervation proportional wäre; für die Annahme eines so sonderbaren Verhältnisses kann ich freilich aber keinen triftigen Grund finden.

Einstweilen ist es also die natürlichste Annahme, daſs die Muskelarbeit der Gröſse der Innervation proportional zunimmt, und unter dieser Voraussetzung wird die durch eine bestimmte psychische Arbeit bewirkte relative Arbeitsverminderung gerade denjenigen Bruchteil der freien Energie des Gehirns angeben, der zur betreffenden psychischen Arbeit verbraucht wird.

Es erübrigt noch, zu untersuchen, welchen Einfluſs ein gröſserer Energieverbrauch auf jeden der beiden Springbrunnen haben wird, wenn beide zugleich springen. Durch einen Versuch wie den zuletzt (S. 247) erwähnten können wir dies leicht finden, indem wir die Steighöhen messen, während sowohl P als Q geöffnet, R aber geschlossen ist. Da die beiden Röhren sehr fein sind, also nur wenig Energie verbraucht wird, können wir keinen wechselseitigen Einfluſs nachweisen, oder mit anderen

Digitized by Google

Worten: wir finden genau dieselben Höhen, wenn beide Springbrunnen zugleich springen, die wir finden, wenn jeder derselben allein springt. Öffnen wir nun die Röhre *R* und messen wir aufs neue die Höhen, so finden wir wieder dieselben Zahlen, die wir erhielten, als wir jede der Höhen für sich maſsen. Die im Schema (S. 247) angeführten Zahlen gelten also in beiden Fällen, sowohl wenn beide Springbrunnen zugleich springen, als wenn nur einer derselben springt. Folglich wird auch das für jeden der Springbrunnen berechnete *M* zu identischen Werten führen, trotzdem die gemessenen Höhen sehr verschieden waren. Daſs dies völlig mit der Theorie übereinstimmt, ist so leicht zu ersehen, daſs wir hierbei nicht zu verweilen brauchen. Ob wir 2, 3 oder irgend eine gröſsere Anzahl Springbrunnen zugleich springen lassen, ist ganz gleichgültig. Findet in anderer Richtung ein gröſserer Energieverbrauch statt, so muſs die Steighöhe jedes Springbrunnens um einen konstanten Bruch vermindert werden, welcher gerade den zur anderen Arbeit verbrauchten Teil der disponibeln Energie beträgt. Wir haben also:

Wenn zwei oder mehr Arbeiten, die nur einen geringen Teil der freien Energie einer Maschine beanspruchen, zugleich verrichtet werden, so hat ein gröſserer Energieverbrauch zur Folge, daſs jede der einzelnen Arbeiten um einen konstanten Bruchteil vermindert wird, welcher gerade denjenigen Teil der freien Energie der Maschine angibt, den der gröſsere Verbrauch erfordert.

Wie man sieht, findet wieder völlige Übereinstimmung der Springbrunnenversuche mit den ergographischen Bestimmungen statt. Durch letztere gelangten wir nämlich (S. 236) zu folgendem Resultat: wird mit beiden Händen zugleich gearbeitet, so bewirkt eine bestimmte psychische Arbeit dieselbe relative Arbeitsverminderung in beiden Ergogrammen, und deren Gröſse ist dieselbe, die man erhält, wenn nur mit einer Hand gearbeitet wird. Letzterer Umstand, daſs *M* denselben Wert erhält, man möge es nun aus zwei gleichzeitig ausgeführten Ergogrammen oder nur aus einem einzelnen berechnen, ist offenbar die notwendige Folge

Digitized by Google

davon, dafs *M* nur von der Gröfse der psychischen Arbeit abhängig ist; ob wir diese einmal oder mehrmals an verschiedenen Stellen messen, kann auf *M* keinen Einflufs erhalten. Alle eigentümlichen Verhältnisse der Arbeit mit zwei Händen, welche das psychologische Aufmerksamkeitsgesetz durchaus nicht zu erklären vermochte, gehen also aus der hier durchgeführten dynamischen Betrachtung als einfache Konsequenzen hervor. Es wird nun zu untersuchen sein, erstens, inwiefern diese Auffassung sich mit dem, was wir sonst über die zentralen Prozesse wissen, überhaupt in Übereinstimmung bringen läfst, und zweitens, wie man von diesem Gesichtspunkte aus die Aufmerksamkeit zu erklären vermag.

Bevor wir hierzu schreiten, wird es doch angesichts der Wichtigkeit der Sache in der Ordnung sein, dafs für die Richtigkeit der oben aufgestellten Sätze von der wechselseitigen Einwirkung gleichzeitiger Arbeiten aufeinander ein fernerer Beweis geführt wird. Man könnte sich sonst leicht der Annahme zuneigen, die Übereinstimmung der Springbrunnenversuche mit den ergographischen Bestimmungen sei eine ganz zufällige, indem die beiden Reihen von Versuchen nur eine oberflächliche Ähnlichkeit darböten, durch die sich nichts begründen lasse. Der Springbrunnenapparat wäre vielleicht sogar die einzige Anordnung, für welche die aufgestellten Sätze gölten. Zu bestreiten ist es jedenfalls nicht, dafs die Gemeingültigkeit der Sätze hierdurch keineswegs bewiesen ist. Viele möchten sogar wohl meinen, ein Stück Spielzeug wie der Springbrunnenapparat, der nicht einmal genaue Messungen gestatte, sei in einer ernstlichen wissenschaftlichen Diskussion nicht als Argument zu gebrauchen. Um diese verschiedenen Einwürfe zu widerlegen, werde ich folgenden Satz beweisen:

Die früher gefundenen Gesetze von der wechselseitigen Einwirkung verschiedener, von einer Maschine verrichteter gleichzeitiger Arbeiten sind auch für das galvanische Element gültig, indem es sich erweist, dafs sie sich aus dem Ohmschen Gesetze direkt ableiten lassen.

Digitized by Google

Möglicherweise ist hierin gar nichts Neues enthalten; ich halte es sogar für wahrscheinlich, dafs die Elektrotechniker mit der Sache vertraut sind, da man aber nicht einmal in den gröfseren Handbüchern der Physik etwas hierüber finden kann, wird eine kurze Beweisführung hier am Platze sein.

In der Fig. 6 seien B und D die Pole einer konstanten galvanischen Batterie, deren elektromotorische Kraft e ist. Mit dem Pole B verbinden wir einen Metalldraht, BC, und die Elemente der Batterie werden so geordnet, dafs der innere Widerstand dem äufseren gleich wird; der gesamte Widerstand sei m. Bildet dieser Draht allein die äufsere Leitung, indem der Punkt C mit D in Verbindung gesetzt wird, so wird die Stromstärke A_m durch den Draht das Maximum sein, weil der innere und der äufsere Widerstand sich gleich sind; A_m ist also die maximale Stromenergie, welche die Batterie unter diesen Umständen zu leisten vermag. Dem Ohmschen Gesetze zufolge ist nun $A_m = e/m$. Wir schalten nun zwischen den Punkten C und D einen langen dünnen Draht mit dem Widerstande v ein; diese Leitung durchläuft dann ein Strom A_s, der ebenfalls dem Ohmschen Gesetze gemäfs durch $A_s = e/(m+v)$ bestimmt ist. Wir untersuchen darauf, welchen Einflufs es auf den Strom durch den Widerstand v erhält, wenn wir einen Teil des Stromes durch den kurzen starken Draht CD ablenken, dessen Widerstand w ist. Nach den bekannten Sätzen von der Stromverzweigung, die sich übrigens sämtlich aus dem Ohmschen Gesetze ableiten lassen, wird die Stromstärke A_v in dem Zweige, der den Widerstand v leistet, folgende sein:

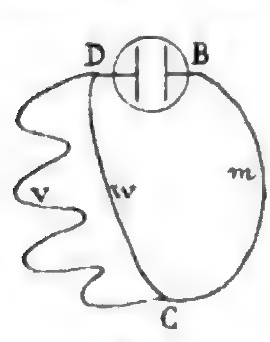


Fig. 6.

$$A_v = \frac{w \cdot e}{m(v + w) + v \cdot w}$$

Bevor der Widerstand w eingeschaltet wurde, hatten wir in der Leitung v die Stromstärke A_s, jetzt ist die Stromstärke A_v, es hat folglich eine Stromverminderung stattgefunden von der Gröfse:

$$A_s - A_v = \left(\frac{1}{m + v} - \frac{w}{m(v + w) + v \cdot w}\right) e$$

Digitized by Google

Die relative Stromverminderung erhält man durch Division von $A_s - A_r$ mit A_s, folglich hat man:

$$M = \frac{A_s - A_r}{A_s} = 1 - \frac{w\,(m + v)}{m\,(v + w) + v \cdot w} = \frac{m \cdot r}{m\,(v + w) + v \cdot w}$$

Dieser Bruch sollte also gerade denjenigen Bruchteil der maximalen Stromenergie angeben, der die Leitung w durchläuft. Die maximale Stromenergie fanden wir oben durch $A_m = e\,m$ ausgedrückt; die Leitung w durchläuft ein Strom, dessen Stärke A_w gegeben ist durch:

$$A_w = \frac{v \cdot e}{m\,(v + w) + v \cdot w}, \text{ folglich ist}$$

$$\frac{A_w}{A_m} = \frac{m \cdot v}{m\,(v + w) + v \cdot w}$$

Man sieht, dafs dieser Bruch mit dem Ausdruck für M identisch ist. Hierdurch ist also bewiesen, dafs in der einen Leitung eine Stromverminderung stattfindet, wenn gleichzeitig ein Strom die andere Leitung durchläuft, und ferner sieht man, dafs die relative Stromverminderung den durch die Nebenleitung abgelenkten Bruchteil der gesamten Stromenergie des Elementes angibt. Da der Satz somit für eine Zweiteilung des Stromes bewiesen ist, wird er sich auch leicht auf den Fall erweitern lassen, dafs der Strom von Anfang an verzweigt war. Alle diese Ströme werden ohne Rücksicht auf ihre Anzahl und Stärke um denselben Bruchteil vermindert, wenn eine neue Nebenleitung eingeschaltet wird. Die Gemeingültigkeit unserer Gesetze dürfte mithin wohl als dargethan zu betrachten sein.

Dynamische Erklärung der Aufmerksamkeit. Rein empirisch fanden wir, dafs eine psychische Arbeit, die mit einer oder mit mehreren körperlichen Arbeiten zugleich ausgeführt wird, die Gröfse derselben auf gesetzmäfsige Weise beeinflufst. Hierauf wiesen wir nach, dafs eben dieselben Gesetze für die wechselseitige Einwirkung verschiedener, von irgend einer Maschine verrichteter Arbeiten gültig sind. Da es nicht anzunehmen ist, dafs eine solche Übereinstimmung nur ein Zufall sei, schlossen wir ohne weiteren Vorbehalt aus gemeinschaftlicher Wirkung auf gemeinschaftliche Ursache. Es wurde deshalb ohne nähere Begründung voraus-

Digitized by Google

gesetzt, dafs gleichzeitige Energieverbrauche im Gehirn auf irgend eine, übrigens unbekannte Weise aufeinander einwirkten, ganz ebenso wie gleichzeitige Energieverbrauche jeder beliebigen Maschine. Ferner wurde angenommen, dafs die gleichartigen Verhältnisse uns berechtigten, die gleichen Schlüsse zu ziehen. Da wir in betreff einer Maschine aus den gemessenen Veränderungen der Gröfse der einen Arbeit die Gröfse des anderen gleichzeitigen Energieverbrauchs zu berechnen im stande sind, nahmen wir an, dafs dasselbe auch von gleichzeitigen Hirnarbeiten gelten müsse. Es wurde daher als gegeben betrachtet, dafs man — unter Voraussetzung der Proportionalität zwischen der Muskelarbeit und der motorischen Innervation — aus den gemessenen Veränderungen in den Ergogrammen den relativen Energieverbrauch bei der gleichzeitigen psychischen Arbeit berechnen könne. Unsere Berechtigung, diese Annahmen zu machen, beruht nun offenbar auf der unbewiesenen Voraussetzung, dafs das Gehirn — in physischer Beziehung — eine Kraftmaschine ist, und deshalb denselben Gesetzen unterworfen ist, die für derartige Maschinen Gültigkeit haben. Nun ist der Umstand, dafs das Gehirn thatsächlich diesen Gesetzen gehorcht, unleugbar ein gewichtiges Argument, und ich gestehe, dafs es mir unmöglich ist, einzusehen, wie man eigentlich eine solche Übereinstimmung erklären soll, wenn man keine gegenseitige Einwirkung gleichzeitiger Energieentladungen im Gehirn annehmen will. Dennoch müfste eine solche Auffassung verworfen werden, wenn es sich erweisen sollte, dafs sie dem Wenigen, was wir über die zentralen Prozesse wissen, völlig widerstritte. Es ist daher notwendig, vorerst zu untersuchen, inwiefern unsere Kenntnis dieser Verhältnisse eine derartige Annahme gestattet.

Es darf als festgestellte Thatsache betrachtet werden, dafs die Zellen des Gehirns, die Neuronen, Energiebehälter sind, in denen die Energie unter der Form äufserst komplizierter und deshalb leicht zerteilbarer Moleküle aufgespeichert ist. Durch Zerteilung dieser Stoffe entstehen der Erfahrung gemäfs Wärme und Elektrizität, möglicherweise auch noch andere, unbekannte Energieformen. In jedem einzelnen Neuron

Digitized by Google

wird während der Zeiteinheit wahrscheinlich nur eine verhältnismäfsig geringe Menge Energie umgesetzt werden können, durch gleichzeitige Arbeit einer grofsen Anzahl von Neuronen mufs es aber doch möglich sein, in jedem einzelnen Augenblicke bedeutende Energiemengen zu entwickeln. Die ganze Summe von Energie, welche das Gehirn in jedem einzelnen Augenblicke zu leisten vermag, nannten wir im Vorhergehenden die disponible oder freie Energie des Gehirns. Diese mufs notwendigerweise nur ein sehr geringer Teil der in chemischer Form im Gehirn aufgespeicherten Energiemenge sein. Hierauf deutet wenigstens der Umstand hin, dafs das Gehirn nur durch sehr angestrengte, lange andauernde Arbeit ermüdet. Wäre es möglich, während jeder Zeiteinheit einen gröfseren Bruchteil der gesamten Energie des Gehirns zu verbrauchen, so scheint hieraus folgen zu müssen, dafs man durch sehr grofse geistige Anstrengungen das Gehirn während verhältnismäfsig kurzer Zeit völlig erschöpfen könnte. Es müfste dann ein ähnlicher Zustand totaler Ermüdung entstehen, wie wir ihn von den Muskeln kennen. Unsere ergographischen Versuche zeigten — was die tägliche Erfahrung übrigens völlig bestätigt — dafs es möglich ist, während kurzer Zeit einen Muskel so müde zu arbeiten, dafs er überhaupt unfähig wird, sich trotz aller willkürlichen Anstrengung zusammenzuziehen. Dies geschieht, wie wir wissen, obschon der Stoffwechsel bei der Muskelarbeit bedeutend zunimmt. Einen ähnlichen Zustand der Erschöpfung der Energie des Zentralorgans — der wahrscheinlich den Tod des Individuums zur Folge haben würde — kennen wir nicht. Dies deutet offenbar darauf hin, dafs die disponible Energie, die in jedem Augenblick verbraucht werden kann, nur ein geringer Teil der gesamten aufgespeicherten Energiemenge ist. Wie diese Transformation der Energie, der Umsatz chemischer Energie in andere Energieformen, sich unter gegebenen Verhältnissen unter die verschiedenen Neuronen verteilt, wird nun im Folgenden die Aufgabe unserer Untersuchung werden.

Die Energie des Gehirns ist also über eine sehr grofse Anzahl von kleinen Energiebehältern, von Neuronen verteilt. Stehen diese nun in solcher Verbindung

Digitized by Google

miteinander, dafs man annehmen kann, eine Veränderung an einem Punkte übe auch auf den Zustand anderer, fernerer Stellen Einflufs? Dies kann durchaus keinen Zweifel erleiden. Der Bau des Neurons ist gerade ein solcher, dafs er im höchsten Grade die Verbindung der einzelnen Zelle mit zahllosen anderen, sowohl näher als ferner liegenden erleichtert. Die einzelne Zelle entsendet teils mehrere äufserst fein verästelte Ausläufer, Dendriten, teils eine oder zwei unverästelte Nervenfasern, Achsencylindervorsprünge, die oft, zum Teil von anderen Nervenelementen isoliert, lange Strecken durchlaufen, bis sie sich schliefslich in einen verzweigten Büschel auflösen. Alle diese Verästelungen, sowohl die Dendriten als die eigentlichen Nervenfasern, bilden ein dichtes Geschlinge mit unzähligen gegenseitigen Berührungen. Der Unterschied zwischen den beiden Arten von Nervenelementen, den Achsencylindervorsprüngen und den Dendriten, besteht darin, dafs diese die Bewegung cellipetal, jene dagegen cellifugal leiten. Eine Bewegung bestimmter Art, die in einem einzelnen Neuron entsteht, wird sich also durch die Nervenfaser aus diesem Neuron und dann auf diejenigen Neuronen fortpflanzen, mit deren Dendriten die Nervenfaser kommuniziert. Aus den empfangenden Dendriten geht die Bewegung weiter durch die betreffenden Zellen und deren Nervenfasern u. s. w. Die Kommunikationen sind so vielfach, dafs es fast unbegreiflich ist, weshalb nicht das ganze Zentralorgan durch jede Zustandsänderung des einzelnen Neurons in Bewegung gesetzt wird[1]. Gegenwärtig läfst sich wohl nicht viel mehr darüber sagen, als dafs jedes Neuron nicht für Zustandsänderungen jeder Art gleich empfänglich zu sein braucht. Die Bewegung pflanzt sich daher vorzüglich bis zu denjenigen Neuronen fort, welche der bestimmten Art der Bewegung angepafst und deshalb gerade für dieselbe empfänglich sind. Im Folgenden kommen wir übrigens auf diese Frage zurück.

Das Zentralorgan ist also so gebaut, dafs eine an einem einzelnen Punkte entstandene Bewegung die reichlichste Gelegenheit hat, sich bis an die äufsersten

---

[1] Lenhossék: Der feinere Bau des Nervensystems. S. 143.

Digitized by Google

Grenzen fortzupflanzen. Die Frage ist nun die, ob wir irgend einen Beweis dafür haben, dafs eine Bewegung, die sich im Zentralorgan ausbreitet, auf andere, gleichzeitige Bewegungen einwirken kann. Dieses Problem ist der Gegenstand verschiedener physiologischer Untersuchungen gewesen, und alle Forscher scheinen hier über die Resultate einig zu sein: gegenseitige Einwirkung gleichzeitiger oder kurz nacheinander folgender Bewegungen findet immer statt, und die Einwirkung kann teils hemmend, teils bahnend sein. Eine kurze und klare Auseinandersetzung der wichtigsten hierhergehörenden Untersuchungen wurde von Goldscheider[1] gegeben; nach seiner Arbeit führe ich hier die wesentlichsten Punkte an, die für uns Bedeutung haben.

Wir nehmen jedes der beiden Verhältnisse, die Hemmung und die Bahnung, für sich, und fangen mit ersterer an, die offenbar mit der Erscheinung, für die wir eine Erklärung suchen, nämlich mit dem hemmenden Einflusse der psychischen Arbeit auf die Muskelarbeit, am nächsten verwandt ist. Die physiologischen Untersuchungen über die Hemmung beschäftigten sich ganz natürlich zunächst mit den Reflexäufserungen, da man an der Muskelbewegung ein sichtbares Anzeichen hat, ob der Reflex ungestört verlaufen ist, oder ob er möglicherweise unter gegebenen Umständen gehemmt wurde. Die Resultate, zu denen man hier gelangt ist, lassen sich in Kürze folgendermafsen angeben. Jedes Zentrum, durch welches ein bestimmter Reflexakt ausgelöst wird, verliert an Fähigkeit zum Auslösen des Reflexes, wenn es zugleich durch irgend eine Nervenbahn beeinflufst wird, die mit dem betreffenden Reflexakte nichts zu schaffen hat. Am sichersten und regelmäfsigsten wird deshalb ein Zentrum eine bestimmte Reflexfunktion ausüben, wenn seine Kommunikation mit allen anderen Zentren aufgehoben ist. Je zahlreichere Kommunikationen es dagegen mit anderen Zentren hat, um so leichter wird der Reflexakt gehemmt werden. Deshalb werden Reizungen, die bei einem Tiere mit gröfseren oder geringeren Hirndefekten

[1] Die Bedeutung der Reize für Pathologie und Therapie. Leipzig 1898. Kap. IV.

Digitized by Google

mit Leichtigkeit Reflexe auslösen, diese Reflexe beim normalen, unversehrten Tiere oft gar nicht hervorrufen[1]. Was ferner die Reizungen betrifft, durch welche die Reflexhemmungen hervorgerufen werden, so erweist es sich, dafs dieselben keineswegs begrenzter Art sind; jeder beliebige, hinlänglich starke Sinnesreiz wird gewöhnlich einen gegebenen Reflex zu hemmen vermögen. Die Hemmung scheint mithin nicht an bestimmte Bahnen gebunden zu sein; eigentlich kommt es nur darauf an, ob die Reizung des Sinnesorgans im stande ist, ihre Wirkung bis in das reflexauslösende Zentrum gelangen zu lassen. Starke Sinnesreize werden deshalb auch leichter als schwache die Reflexe hemmen können, die Stärke ist augenscheinlich aber etwas sehr Relatives, da die Leichtigkeit, mit welcher der Reiz sich den Weg bis zum Zentrum bahnt, und die Empfänglichkeit des letzteren das Wesentlichste sind. In einzelnen Fällen können daher sogar verhältnismäfsig sehr schwache Reize reflexhemmend wirken.

Diese Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen stehen offenbar in genauester Übereinstimmung mit dem, was unsere Kenntnis des anatomischen Baues des

[1] Hiermit ist offenbar auch die Erklärung der Thatsache gegeben, deren Nachweis der Hauptinhalt des 1. Teiles vorliegender Arbeit war, dafs nämlich vasomotorische Reflexe bei normalen Menschen nicht vorkommen. Weil Störungen des Kreislaufes sich bei Tieren, deren Nervensystem durch Operation versehrt wurde, oder bei Menschen, die an entschiedenen Krankheiten der höheren Hirnzentren leiden, leicht reflektorisch hervorrufen lassen, dürfen wir darum doch nicht annehmen, dafs dergleichen Reflexe auch bei normalen Menschen vorkommen sollten, da es möglich ist, dafs die höheren Zentren stets diese Reflexe hemmen. Meine Versuche legten nun gerade dar, dafs besonders vasomotorische Störungen des Kreislaufs bei normalen Individuen nur dann zu stande kommen, wenn der auslösende Reiz bis ins Bewufstsein gelangt, oder bis in — das Bewufstseins*organ*, was man ja gern sagen kann, um die Physiologen zu erfreuen, da die erstere Ausdrucksweise ihnen gar zu »metaphysisch« deucht. Da meine Untersuchungen die ersten sind, die überhaupt über die Existenz vasomotorischer Reflexe bei normalen, unversehrten Menschen angestellt wurden, und da das angeführte Ergebnis durchaus keiner physiologischen Thatsache widerstreitet, begreife ich nicht, weshalb ein bekannter Physiolog wegen dieser Sache hysterische Anfälle bekommen hat. Sollte dies vielleicht seinen Grund darin haben, dafs es einer der verachteten Psychologen ist, der die Physiologie um eine wohlbegründete Thatsache bereichert hat?

Digitized by Google

Gehirns uns gelehrt hat. Einerseits sehen wir, wie das Organ so gebaut ist, dafs die Reizung eines einzelnen Punktes die Möglichkeit hat, sich über das Ganze auszubreiten; anderseits erfahren wir, dafs ein solches Ausbreiten meistens auch wirklich stattzufinden scheint, indem ein Sinnesreiz jeder beliebigen Art einen gleichzeitigen Reflexakt zu hemmen vermag. In völliger Übereinstimmung hiermit befindet sich ferner das Resultat unserer psychologischen Untersuchungen, indem wir sahen, dafs eine psychische Thätigkeit sehr verschiedener Art (Denken, Gedächtnisarbeit) die Muskelarbeit, die zugleich willkürlich verrichtet wird, vermindert, d. h. sie hemmt. Wir können daher die Resultate unserer auf ergographischem Wege ausgeführten Bestimmungen den physiologischen Erforschungen der Reflexhemmung direkt unterordnen:

Wie eine Reflexäufserung bei einem Tiere mit gröfserem oder geringerem Defekt des Gehirns durch irgend einen gleichzeitigen Sinnesreiz gehemmt werden kann, so wird auch die von einem normalen Individuum ausgeführte willkürliche Muskelarbeit durch eine gleichzeitige psychische Thätigkeit verschiedener Art gehemmt werden.

Hierbei brauchen wir aber doch nicht stehen zu bleiben; ohne Zweifel können wir noch eine gute Strecke weiter kommen. Wie die Reflexhemmung vorgeht, wie die Bewegung, die das Reflexzentrum trifft, im stande sein kann, die auf anderem Wege eingeleitete Reflexäufserung zu hemmen, darüber haben die Physiologen bis jetzt nichts anzugeben vermocht; sie haben sich darauf beschränkt, die Thatsache zu konstatieren. Hier scheinen die ergographischen Bestimmungen ergänzend hinzuzutreten. Gibt es keinen fundamentalen Unterschied zwischen der Hemmung der willkürlich verrichteten Muskelarbeit durch die psychische Thätigkeit und der Hemmung der Reflexäufserung durch den Sinnesreiz, so wird die für den einen Fall gültige Erklärung sich auch auf den anderen übertragen lassen. Nun legten wir aber im Vorhergehenden dar, dafs die Hemmung der Muskelarbeit durch psychische Arbeit Gesetzen gemäfs vorgeht, die durchaus keinen spezifisch physio-

Digitized by Google

logischen Charakter haben. Dieselben sind rein physischer Art, ganz dieselben, die für jede gegenseitige Einwirkung der von derselben Kraftmaschine ausgeführten Arbeiten gelten. Ist dies aber in solchen Fällen gültig, wo psychische Thätigkeit mitbeteiligt ist, so würde es doch höchst sonderbar sein, wenn es nicht auch von den weit mehr maschinenmäſsigen Reflexäuſserungen gelten sollte. Die Annahme dürfte daher wohl kaum als zu gewagt erscheinen, daſs alle verschiedenen Hemmungen, die rein physiologischen sowohl als die psychophysiologischen, ganz derselben Art wären, denselben Gesetzen gehorchten und sich deshalb auf dieselbe Weise erklären lieſsen. Was die Erklärung betrifft, so ist diese bereits insofern im Vorhergehenden gegeben, als wir sahen, daſs die Hemmung durchaus keine speziell physiologische Erscheinung ist; soll eine Maschine für zwei Arbeiten zugleich Energie liefern, so wird stets jede derselben kleiner, als sie geworden wäre, wenn sie allein verrichtet würde. Zurück steht also nur die Erörterung, wie wir uns auf Grundlage unserer heutigen Kenntnis des Zentralorgans das Stattfinden solcher wechselseitigen Einwirkung zweier gleichzeitiger Energieentladungen im Gehirn zu denken haben.

Am leichtesten gelangen wir zu einem Verständnisse der Verhältnisse, wenn wir uns eine Bewegung im Zentralorgane von auſsen her, durch einen Sinnesreiz in Gang gesetzt denken. Was wir hiermit besprechen werden müssen, ist doch kein spezieller Fall, denn alle psychische Thätigkeit ist früher oder später, direkt oder indirekt, durch äuſsere Einwirkungen auf den Organismus hervorgerufen, und es liegt kein Grund für die Vermutung vor, daſs der Energieumsatz in den Neuronen anderer Art werden sollte, weil die ursprüngliche Ursache der Bewegung in der Zeit weiter zurück liegt. Wir gehen also von einem Sinnesreize aus, wodurch es uns möglich wird, die weitere Erörterung unmittelbar an das oben über die Veränderungen im Sinnesnerv Aufgestellte (S. 181—82) zu knüpfen. Die elektrolytische Bewegung, aus welcher der Nervenstrom besteht, bewirkt eine Wanderung positiv geladener Ionen nach der gereizten Stelle des Nervs, während negative Ionen nach dem Zentralorgane hin gedrängt

Digitized by Google

werden. Die von den Veränderungen des Sinnesnervs unmittelbar getroffene Gruppe von Neuronen wird folglich in ihrer Beziehung zu den Umgebungen negativ elektrisch. Diese Potenzialsenkung wird zur Folge haben, dafs aus den Stellen mit höherem Potenzial Energie nach der Stelle mit niederem Potenzial strömt, oder mit anderen Worten: die im Nerv vorgehende Bewegung pflanzt sich intercellulär weiter zu allen denjenigen Neuronen fort, mit welchen die ursprünglich gereizten im Kontakt stehen. Die Bewegung wird sich also mit immer mehr abnehmender Stärke nach aufsen verbreiten. Je gröfser die Potenzialsenkung ist, oder je gröfser die Anzahl der Neuronen ist, deren Potenzial ursprünglich vermindert wurde, um so stärker wird auch der Strom nach einem solchen Arbeitszentrum werden. Entsteht nun gleichzeitig ein zweites Arbeitszentrum im Zentralorgane, so mufs der Umstand, dafs die disponible Energie beschränkt ist, zur Folge haben, dafs die beiden Ströme sich gegenseitig schwächen[1]. Die nach dem einen Zentrum strömende Energie wird dem anderen einfach genommen. Die Verhältnisse sind offenbar denjenigen ganz analog, welche uns vom Springbrunnenapparate bekannt sind: der Zuflufs nach der einen Röhre wird dadurch vermindert, dafs der anderen Wasser entströmt.

Es ist also nicht ganz unverständlich, wie gleichzeitige Bewegungen im Gehirn aufeinander influieren können. Trotz des komplizierten Baues des Organs ist dasselbe dennoch den allgemeinen physischen Gesetzen unterworfen, und die Verhältnisse lassen sich daher mit denjenigen parallelisieren, die wir von unseren Maschinen kennen. Weniger verständlich ist es, wie es möglich wird, dafs ein solcher Energiestrom nicht alle Funktionen des Gehirns auf einmal auslöst. Man müfste ja fast erwarten, dafs ein einzelner Sinnesreiz z. B. alle Vorstellungen auslösen würde, die das Bewufstsein des Individuums überhaupt zur Verfügung hat: dies geschieht aber doch nicht. Die Schwierigkeit, die uns hier

[1] Natürlich braucht die eine Arbeit keine motorische zu sein; Vogts früher (S. 215) erwähnte Versuche zeigen, dafs auch zwei psychische Arbeiten sich gegenseitig hemmen.

Digitized by Google

aufstöfst, haben auch die Anatomen und die Physiologen gewahrt, welche verschiedene Ansichten aufgestellt haben, um über dieselbe hinwegzukommen. So meint Lenhossék, die einzelnen Neuronen seien für verschiedene Arten der Bewegung abgestimmt[1]; Goldscheider betrachtet die Empfänglichkeit der verschiedenen Zellen für gegebene Bewegungen als verschieden[2]. In der Realität scheinen diese Erklärungen ungefähr dasselbe zu sagen, da die verschiedene Empfänglichkeit ja doch zunächst darauf beruhen mufs, dafs nicht alle Neuronen für jede Art der Bewegung gleich gut geeignet sind. Und trotz der elektrolytischen Natur der Bewegungen müssen diese doch wesentliche Verschiedenheiten darbieten. Zwei verschiedene Farbenstrahlen können z. B. in der Netzhaut keine Nervenströme auslösen, die nur an Stärke verschieden wären, denn es wäre dann unbegreiflich, wie sie verschiedene Farbenempfindungen verursachen können. Worin die Verschiedenheit der Nervenströme besteht, das ist uns natürlich durchaus unbekannt. Es ist aber jedenfalls zulässig, sich zu denken, die Verschiebung der Ionen geschehe nicht kontinuierlich, sondern stofsweise mit verschiedener Periode, von der Natur der verschiedenen Reizungen abhängig. Etwas Ähnliches mufs ja ebenfalls stattfinden, wenn man durch einen Elektrolyt eine Reihe regelmäfsiger, schnell aufeinanderfolgender Stromstöfse sendet; es mufs dann gleichfalls eine periodische Verschiebung der Ionen vorgehen. Übrigens ist es einerlei, wie man sich die Sache denken möchte; das Wesentliche ist, dafs zwischen den zum Gehirn fortgepflanzten Nervenbewegungen Verschiedenheit bestehen mufs. Sind nun nicht alle Neuronen gleich empfänglich für jede periodische Bewegung, so wird diese sich freilich bis zu allen fortpflanzen, nur in einzelnen wird sie aber so grofse Stärke erreichen, dafs sie die spezielle Funktion des Neurons auszulösen vermag. Unleugbar ist dies eine rein hypothetische Erklärung, für die wir nicht den geringsten Beweis beizubringen im stande sind, da aber weiter nichts damit bezweckt

[1] L. c. S. 143.
[2] L. c. S. 8.

Digitized by Google

ist, als zu zeigen, wie die thatsächlich bestehenden Verhältnisse sich überhaupt als möglich denken lassen, können wir gern hierbei stehen bleiben.

Es erübrigt noch, das andere Verhalten zu erörtern, das zwischen gleichzeitigen Bewegungen im Zentralnervensystem eintreten kann, nämlich deren gegenseitige Bahnung. Auch diese ist von verschiedenen Physiologen zunächst mittels der Reflexbewegungen untersucht worden. Die Erscheinung äufsert sich im Gegensatz zur Hemmung dadurch, dafs eine Bewegung in einem Reflexzentrum einer anderen, gleichzeitigen oder kurz darauf eintretenden Bewegung den Weg bahnen, dieselbe verstärken oder fördern kann, so dafs letztere einen Reflex auszulösen vermag, wozu sie ohne Hilfe der ersteren sonst nicht fähig sein würde. Mit Bezug auf die Bedingungen für das Eintreten einer Bahnung zeigen die Versuche, dafs durchweg nur schwache und kurze Reizungen bahnend wirken. So wird die künstliche Reizung eines Reflexzentrums für einen Sinnesreiz bahnend wirken können, der durch dieses Zentrum den Reflex auslöst, oder umgekehrt, der Sinnesreiz kann für die künstliche Reizung des Zentrums bahnend wirken. Ebenfalls findet man, dafs der erste Sinnesreiz für den folgenden derselben Art bahnend wirkt; aufserdem hat man Beispiele, dafs zwei Reize, die gar nichts miteinander zu thun haben, wie z. B. ein Schallreiz und eine Berührung, einander unterstützen können. Die Reizung der Vorderpfote eines Tieres kann für eine Reizung der Hinterpfote bahnend wirken, ebenfalls eine Reizung der linken für die der rechten Pfote. Diese Versuche zeigen, dafs jeder Reiz, je nach den Umständen, bahnend oder hemmend wirken kann; welches Resultat er erzeugt, beruht zunächst auf seiner Stärke und Dauer. Dies ist nach der Erklärung der Hemmung, die wir oben gaben, denn auch leicht zu verstehen. Ist ein Reiz so stark und andauernd, dafs er einen starken intercellulären Energiestrom nach einem bestimmten Punkte des Zentralorgans hervorruft, so wird dieser Strom auf andere gleichzeitige Bewegungen notwendigerweise hemmend wirken. Ist der Reiz aber nur schwach und kurz, so wird der im Zentralorgan hervorgerufene Strom seiner geringen

Digitized by Google

Stärke wegen keinen merklichen hemmenden Einflufs üben können. Die Verhältnisse sind offenbar ganz denen analog, die wir vom Springbrunnenapparate kennen; öffnen wir eine weite Röhre, so nimmt die Steighöhe merklich ab, wogegen es keinen nachweisbaren Einflufs erhält, dafs wir ein Haarröhrchen öffnen. Ein Strom im Gehirn wird aber doch nicht ganz ohne Bedeutung, selbst wenn er nicht hemmend wirkt. Denn er erzeugt stets schwache Veränderungen in den Neuronen, und kommt nun an einem einzelnen Punkte ein Stofs von anderer Seite, so wird dieser Reiz sich zu der schon bestehenden Bewegung addieren, und dies kann genügen, um die Funktionen des Neurons auszulösen. Auf diese Weise hat ersterer Reiz mithin dem letzteren die Bahn bereitet.

Bei der Bahnung handelt es sich nun augenscheinlich um eine Summation von Reizen — darüber scheinen die Physiologen auch einig zu sein. Dieses Vermögen, die Reize zu summieren, das eine konstante Eigenschaft der Nervenzellen ist, steht jedoch nicht als eine so rätselhafte Erscheinung da, wie sie gewöhnlich dargestellt wird. Die Arbeit der Nervenzellen ist durch eine elektrolytische Dissociation bedingt; diese macht deren Energie frei. Wie jeder chemische Prozefs erfordert die Dissociation aber ganz bestimmte Bedingungen, um überhaupt zu stande zu kommen, eine bestimmte Intensität des dissociierenden Reizes u. s. w.; deshalb hat jedes einzelne Neuron seinen Schwellenwert (Goldscheider), den der Reiz übersteigen mufs, damit die Funktion des Neurons ausgelöst werden kann. Wie die notwendigen Bedingungen aber herbeigeschafft werden, mufs für das Eintreten der Wirkung ganz gleichgültig sein. Verlangt ein Stoff z. B. eine bestimmte Temperatur, um dissociiert zu werden, so macht es keinen Unterschied, ob man die ganze erforderliche Wärmemenge auf einmal zuführt, oder ob die Temperatur durch eine Reihe successiver kleiner Zufuhren von Wärme gesteigert wird. Wenn nur der zeitliche Zwischenraum kein so langer ist, dafs der Körper die empfangene Wärme wieder abgeben kann, bevor neue Zufuhr eintrifft, wird man auch auf diese Weise die Dissociation zu stande bringen können. Bei einem

Digitized by Google

solchen rein chemischen Versuche würde man ganz gewifs mit vollem Recht von einer Summation der Reize reden können. Auf rein physischem Gebiete hat man übrigens dasselbe; ein Körper kann durch einen einzelnen kräftigen Stofs oder durch eine Reihe kleiner taktfester Stöfse in Schwingung gesetzt werden. Hier findet also ebenfalls eine Summation statt. Diese Erscheinung ist mithin nichts den Nervenzellen Eigentümliches; unter allen Verhältnissen, wo die durch einen Reiz hervorgerufene Zustandsänderung nicht aufgehört hat, bevor ein neuer gleichartiger Reiz eintrifft, wird eine Summation stattfinden. Es liegt also nichts sehr Sonderbares darin, dafs zwei Bewegungen, die mit kurzen Zwischenräumen ein Neuron treffen, sich summieren und verstärken. Ebenso wie die Hemmung ist die Bahnung also nur eine spezielle Äufserung bekannter physischer Gesetze.

Kennen wir nun auf dem psychischen Gebiete irgend eine der Bahnung verwandte Erscheinung? Dies ist wohl nicht zu bezweifeln. Unsere ergographischen Messungen zeigten uns, dafs eine und dieselbe psychische Thätigkeit um so gröfseren Energieverbrauch beanspruchen wird, je mehr die Aufmerksamkeit auf die Thätigkeit konzentriert ist. Hieraus geht also direkt hervor, dafs die Aufmerksamkeit von gesteigertem Energieumsatz in einem Arbeitszentrum begleitet wird. Die psychische Wirkung des gröfseren Energieverbrauchs wird primär die sein, dafs die betreffenden Vorstellungen deutlicher hervortreten, und sekundär wird der starke Energiezuflufs zum arbeitenden Zentrum zur Folge haben, dafs alle anderen gleichzeitigen Bewegungen im Zentralorgan gehemmt werden. Die bekannten Wirkungen, die wir der Aufmerksamkeit zuschreiben, lassen sich also erklären, wenn die Aufmerksamkeit als eine Verstärkung einer bestimmten Bewegung im Zentralorgan aufgefafst wird, als eine Bahnung in Analogie mit der von den Physiologen nachgewiesenen Bahnung von Reflexbewegungen.

Es wird also nur fraglich, was denn die Bahnung bewirkt. Die Aufmerksamkeit ist es natürlich nicht, denn da diese selbst die psychische Wirkung der stattfindenden Bahnung ist, kann sie selbstverständlich nicht

Digitized by Google

wohl deren Ursache sein. Die Selbstbeobachtung zeigt uns hier klar und deutlich, wie sich die Sache verhält. Was die Bahn bereitet oder die Konzentration der Aufmerksamkeit herbeiführt, ist stets das Interesse, eine Gruppe gefühlsbetonter Vorstellungen, welche alle an eine bestimmte Vorstellung gebunden sind, die sie deshalb im Verein reproduzieren. Gerade weil diese Vorstellung »Interesse hat«, und weil sie von mehreren Seiten zugleich hervorgerufen wird, tritt sie besonders deutlich hervor, im Gegensatze zu anderen gleichzeitig reproduzierten Vorstellungen, die nur mit einzelnen der vorhergehenden Vorstellungen Anknüpfung haben. Mit fast handgreiflicher Deutlichkeit erweist die Aufmerksamkeit sich als eine Bahnung, wenn es irgend etwas zu Beobachtendes ist, woran sich das Interesse knüpft. Alsdann entsteht gewöhnlich vor der sinnlichen Wahrnehmung ein Erinnerungs- oder Phantasiebild dessen, was man wahrzunehmen erwartet. Hier zeigt uns die Selbstbeobachtung also geradezu, dafs von vornherein eine Bewegung eben der Art erregt ist, die der Sinnesreiz der Erwartung nach herbeiführen wird. Dafs hiermit aufserdem eine Einstellung der Sinnesapparate auf den erwarteten Reiz verbunden ist, mag der Vollständigkeit wegen noch bemerkt werden. Das Zentrale der Aufmerksamkeit ist aber doch die durch das Interesse bewirkte Verstärkung der Vorstellung, was physiologisch geredet nur heifst, dafs vorhergehende Bewegungen im Zentralorgan im Verein eine Bewegung an einem neuen Punkte anbahnen, weshalb der Energieumsatz hier besonders stark wird. — Das Ergebnis dieser Betrachtungen wird also:

Die Erscheinungen, die psychologisch gewöhnlich als Folgen der Konzentration der Aufmerksamkeit in bestimmter Richtung ausgelegt werden, sind leicht als Resultat einer Bahnung, einer Summation von Bewegungen in einem einzelnen Zentrum zu erklären, die durch vorhergehende psychophysiologische Zustände (»das Interesse«) hervorgerufen wurde. Die Bahnung bewirkt unmittelbar einen vermehrten Energieumsatz im betreffenden Zentrum, der die an die

Digitized by Google

Bewegung gebundenen psychischen Zustände mit gröſserer Stärke und Deutlichkeit hervortreten läſst. Ferner wird der vermehrte Energieverbrauch eine starke Energiezufuhr zum arbeitenden Zentrum veranlassen, weshalb andere gleichzeitige Bewegungen im Zentralorgane in gröſserem oder geringerem Grade gehemmt werden, so daſs die im Arbeitszentrum ausgelösten psychischen Zustände im Bewuſstsein mehr oder weniger alleinherrschend werden.

An einem wesentlichen Punkte trifft diese Erklärung mit der Hypothese zusammen, die ich bereits vor zehn Jahren näher entwickelte[1], daſs nämlich die Aufmerksamkeit als die psychische Folge eines vermehrten Energiezuflusses zum arbeitenden Zentrum aufzufassen sei. Die ältere Hypothese enthielt indes den Fehler, daſs das Blut als Träger der Energie betrachtet wurde, so daſs die Aufmerksamkeit näher bestimmt auf einer vermehrten Blutzufuhr zum Arbeitszentrum beruhen muſste. So stark lokalisierte vasomotorische Veränderungen, wie diese Auffassung sie erforderte, sind jedoch wohl kaum physiologisch möglich, und somit wird die Hypothese unhaltbar. In dieser Beziehung hat die oben gegebene Darstellung einen unbestreitbaren Vorzug, indem sie wohl keine einzige rein hypothetische Annahme enthält, sondern sich durchweg auf festgestellte physiologische und psychologische Thatsachen stützt. Da ein sehr groſser Teil der Untersuchungen, die das solide Fundament der neuen Auffassung abgaben, indes erst im Laufe des letzten Dezenniums erschien, ist es leicht verständlich, daſs ich mich mit einer zweifelhaften Hypothese begnügen muſste, während wir jetzt, wenn wir die Erfahrungen aus vielen verschiedenen Gebieten miteinander zusammenhalten, mit nicht geringer Sicherheit den wirklichen Zusammenhang der Sache nachzuweisen vermögen.

Die zeitliche Verschiebung gleichzeitiger Reizungen bei der Aufmerksamkeit. Aus der im Vorhergehenden

---

[1] Die Hypnose und die damit verwandten normalen Zustände. Leipzig 1890. S. 26.

Digitized by Google

dargestellten Erklärung der Aufmerksamkeit läfst sich eine recht sonderbare Konsequenz herleiten, dafs nämlich zwei gleichzeitige Erregungen verschiedener Sinnesorgane nicht gleichzeitig zum Bewufstsein kommen können, wenn die Aufmerksamkeit auf eine derselben konzentriert wird. Damit eine Empfindung zum Bewufstsein gelange, ist, wie wir sahen, in einem bestimmten Zentrum ein Energieumsatz von gewisser Gröfse erforderlich. Ist die Aufmerksamkeit nun auf eine erwartete Reizung *A* gerichtet, so ist die entsprechende Bewegung im Zentralorgan vorher angebahnt, und folglich mufs diese Bewegung geschwinder ihre volle Gröfse erreichen, wenn *A* eintritt, als die gleichzeitig erregte Bewegung *B*, die nicht angebahnt wurde. Die psychische Folge hiervon mufs daher die werden, dafs der Reiz *A* früher als *B* einzutreffen scheint, obschon sie die Sinnesorgane faktisch in demselben Momente treffen. Dafs diese Konsequenz der Theorie sich mit der Erfahrung in Übereinstimmung befindet, wies Weyer[1] nach. Er sagt: »Was die Kurven uns zeigen, ist, in Worten ausgedrückt, dafs, wenn die Aufmerksamkeit auf irgend einem der beiden Reize ruht, der andere Reiz, wenn er dem fixierten in einem nicht zu grofsen Intervall vorangeht, als nachfolgend wahrgenommen wird[2].« Hieraus geht also hervor, dafs der Reiz *B*, auf den die Aufmerksamkeit nicht gerichtet ist, scheinbar nach *A* kommen wird, nicht nur, wenn sie faktisch gleichzeitig sind, sondern sogar auch, wenn *B* ein wenig vor *A* kommt; nur darf der Zwischenraum natürlich kein gar zu grofser sein. Die von Weyer gegebene Erklärung der Sache ist ganz kurz gefafst und unklar; da wir das wirkliche Verhältnis kennen, haben wir keinen Grund, uns näher hierauf einzulassen. Ebensowenig werde ich mich hier mit den übrigens richtigen Versuchen des genannten Forschers beschäftigen, da ich es vorziehe, zur ferneren Bestätigung der Sache mein eignes auf eine von der Weyerschen abweichende Methode gewonnenes Versuchsmaterial darzustellen.

---

[1] Die Zeitschwellen gleichartiger und disparater Sinneseindrücke. Phil. Stud. Bd. XIV u. XV.

[2] L. c. Bd. XV. S. 136—137.

Digitized by Google

Zu Untersuchungen über die Auffassung gleichzeitiger, disparater Sinnesreize konstruierte ich vor mehreren Jahren den unten beschriebenen Apparat. Gleich bei den ersten Versuchen mit demselben (wohl im Frühjahr 1893) zeigte es sich, wie es ausschliefslich von der Richtung der Aufmerksamkeit abhängt, welcher von zwei gleichzeitigen Reizen zuerst zum Bewufstsein kommt. Später ist der Apparat wiederholt zur Anwendung gekommen, weil ich fand, dafs derartige Versuche sich besonders dazu eigneten, Anfänger in dem Konzentrieren der Aufmerksamkeit nach bestimmter Richtung trotz distrahierender Einwirkungen zu üben. Es erweist sich nämlich empirisch, dafs nicht jedermann ohne weiteres dazu fähig ist, selbst wenn die Reize ganz gleichgültig sind, so dafs das Individuum durchaus kein Interesse daran hat, einen dem anderen vorzuziehen. Eben die Verhältnisse, unter denen der eine Reiz gegeben ist, können für die Lenkung der Aufmerksamkeit entscheidend sein, so dafs viele Menschen geradezu belehrt, erzogen werden müssen, wie sie die Aufmerksamkeit nach anderer Richtung lenken sollen. Es traf sogar ein, dafs es einzelnen Versuchspersonen nie gelang, sich von dem dominierenden Einflusse des einen Reizes zu befreien; trotz aller Anstrengung, um den anderen Reiz festzuhalten, schwankte die Aufmerksamkeit dennoch fortwährend hin und her. Dies war natürlich aber nur ausnahmsweise; die meisten lernen verhältnismäfsig schnell die Aufmerksamkeit nach bestimmter Richtung konzentrieren, und sobald dies erreicht ist, geben die Versuche konstante Resultate. Die häufige Wiederholung dieser Versuche hat im Laufe der Jahre ein nicht geringes Material geliefert, das in verschiedenen Beziehungen Interesse darbietet. Ich werde mich indes nicht näher auf die verschiedenen Fragen einlassen, die eine vollständige Bearbeitung des Materials hervorrufen könnte, sondern mich darauf beschränken, solche Versuchsreihen hervorzuziehen, welche die genannte Frage direkt erhellen.

Der angewandte Apparat ist in der Fig. 7 in zwei Projektionen gezeigt. Derselbe besteht aus einer Achse *A*, die mit geringer Friktion in dem von den Ständern *PP* getragenen Lager *L* läuft. An der Achse ist eine

Digitized by Google

Scheibe *S* befestigt; um diese und um eine entsprechende Scheibe an einem Kymographen ist ein Schnurtrieb gelegt, mittels dessen die Achse in Umdrehung gesetzt wird. Ferner trägt die Achse die Friktionsscheibe *F*, gegen welche die Bremse *B* wirkt. Die Bremse dreht sich um einen Zapfen bei *U*, wenn der an deren anderem Ende befindliche Anker vom Elektromagnet *E* angezogen wird. Aufserdem trägt die Achse an jedem Ende einen Zeiger, *Z* und *V*, die in jeden beliebigen Winkel zu einander gestellt werden können und sich

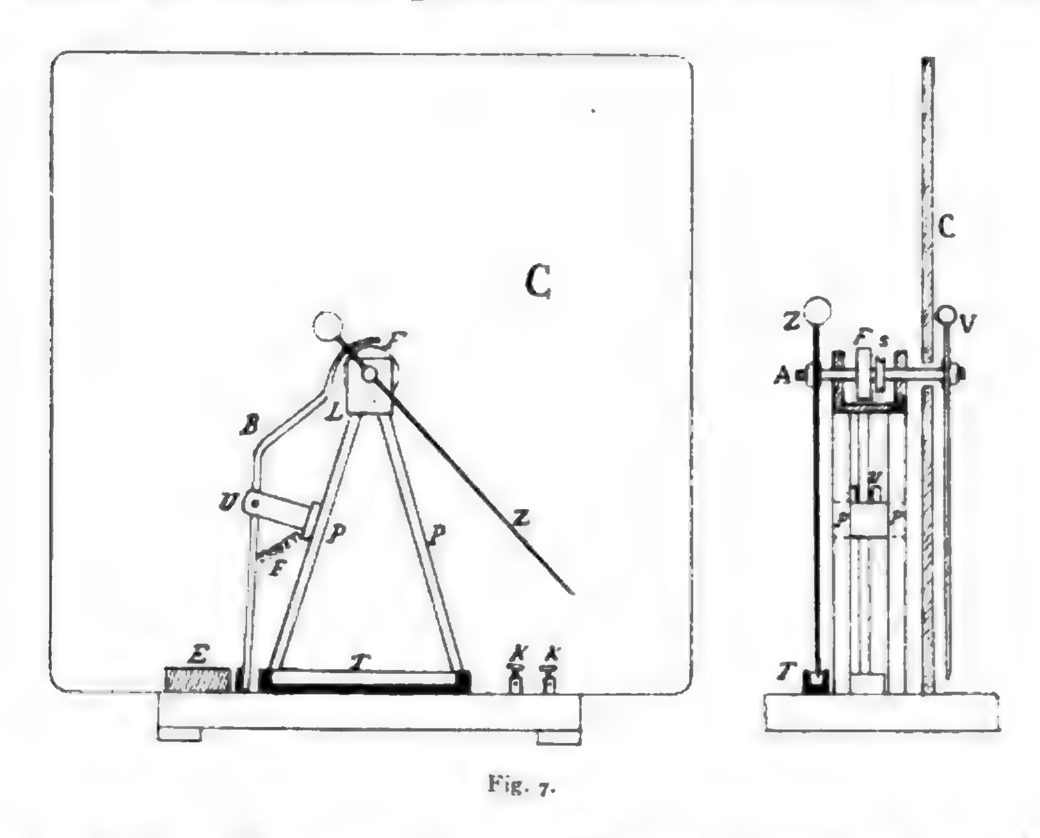


Fig. 7.

in jeglicher Stellung durch Mutterschrauben an der Achse festhalten lassen. Beide Zeiger sind durch Kontragewichte so abbalanciert, dafs ihre Schwerpunkte in die Umdrehungsachse fallen; hierdurch erzielt man, dafs ihre gegenseitige Stellung zu einander keinen Einflufs auf die Umdrehung erhält. Der Zeiger *V* ist eine leichte, steife hölzerne Stange, die sich vor dem Schirm *C* bewegt, an welchem ein in 60 Teile eingeteilter Kreis angebracht ist; das Zentrum des Kreises liegt in der Umdrehungsachse des Zeigers. Der Zeiger *Z* ist aus Metall und mit einer Spitze aus Platin versehen. Während seiner Umdrehung passiert er durch die mit Quecksilber gefüllte Ebonitschale *T* und schliefst somit einen Strom, der von der einen Klemmschraube *K* durch den

Digitized by Google

Ständer *P* nach dem Zeiger, von hier durch das Quecksilber in *T* und den Elektromagnet *E* nach der anderen Klemmschraube *K* zurückgeht. In dem Augenblick, da der Elektromagnet den Anker der Bremse *B* anzieht, wird das andere Ende derselben gegen *F* andrücken, wodurch die Bewegung der Zeiger augenblicklich stockt, wenn nur der elektrische Strom hinlänglich stark ist. Schaltet man zwischen den Elektromagnet und dessen Anker ein Stückchen Holz von passender Dicke ein, so wird die Bremse verhindert, auf die Friktionsscheibe zu wirken, und dann setzt sich die Umdrehung unverändert fort trotz der Schliefsung des Stromes, wenn *Z* durch das Quecksilber passiert. Wird daher in die Stromleitung ein Signalhammer eingeschaltet, so gibt dieser jedesmal, wenn der Strom geschlossen wird, ein Schallsignal; darum braucht die Umdrehung aber nicht zu stocken, denn dies geschieht erst, wenn der Hemmer zwischen dem Elektromagnet und dessen Anker entfernt wird.

Die Anwendung des Apparats ist nun leicht zu verstehen. Der Leiter des Versuchs befindet sich an derjenigen Seite des Schirmes *C*, an welcher der Zeiger *Z* rotiert; an der entgegengesetzten Seite haben die Versuchspersonen ihren Platz. Diese sehen also, wie sich der Zeiger *V* über den eingeteilten Kreis bewegt. Wenn *Z* das Quecksilber in *T* berührt, fällt das Schallsignal, und es ist nun die Aufgabe der Beobachter, zu entscheiden, bei welcher Stellung des Zeigers *V* der Schall eintraf. Dies läfst sich der Erfahrung gemäfs nicht sogleich beurteilen; man mufs mehrmals den Schall bei derselben Stellung des Zeigers gehört haben, bevor man ein entschiedenes Urteil zu fällen vermag. Ist die V-P zu einem endlichen Resultate gelangt, so notiert sie dies und benachrichtigt den Experimentator, dafs sie fertig ist. Der Experimentator entfernt hierauf den Hemmer zwischen dem Elektromagnet und dessen Anker, worauf die Rotation bei der nächsten Stromschliefsung stockt. Alsdann liest man die Stellung des Zeigers *V* ab, bei der das Schallsignal thatsächlich eintraf.

Hierbei sind indes noch verschiedene Umstände zu berücksichtigen. Es ist nämlich nicht notwendigerweise

Digitized by Google

gegeben, dafs der Zeiger eben in demselben Augenblicke stockt, in welchem das Schallsignal eintrifft. Ist das Inertiemoment der rotierenden Teile nur gering, die Friktionsscheibe grofs und der Elektromagnet hinlänglich stark, so ist nichts im Wege, dafs die Bewegung der Zeiger ohne zu schleppen plötzlich in dem Momente stocken kann, da die Bremse an die Friktionsscheibe anschlägt. Es gilt also nur, sich zu vergewissern, dafs die Bremse und der Signalhammer, die beide durch den Strom in Gang gesetzt werden, auch zu gleicher Zeit wirken. Da der Inertiewiderstand beider dieser Apparate zu überwinden ist, und da die beweglichen Teile verschiedene Strecken zu durchlaufen haben, müssen daher besondere Mafsregeln getroffen werden, damit der Anschlag des Hammers an die Glocke und die Einwirkung der Bremse auf die Friktionsscheibe gleichzeitig eintreffen. Zu diesem Zwecke finden sich an beiden Apparaten schraubenförmige Federn, *F* (siehe Fig. 7 u. 8), die angespannt oder schlaff gemacht werden können, wodurch man die Bewegungen der Hebelarme geschwinder oder langsamer zu machen im stande ist. Man ändert also die Spannung dieser Federn so lange, bis die beiden Anschläge, der der Bremse und der des Signalhammers, als ein einziger gehört werden; dann ist man sicher, dafs der Zeiger wirklich in demselben Augenblicke stockt, da der Schall gehört wird.

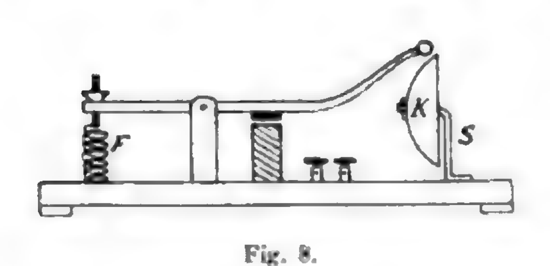


Fig. 8.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Zeiger läfst sich teils dadurch variieren, dafs man den Gang des Kymographen verändert, teils durch Anwendung verschiedener Schnurscheiben an der Achse des Kymographen. Auf diese Weise kann man die Umdrehungsgeschwindigkeit ungefähr so klein machen, wie man will; in dieser Richtung gibt es eigentlich keine Grenze, nur wird die sehr geringe Geschwindigkeit wegen der ungleichartigen Friktion mithin auch verhältnismäfsig unregelmäfsig. In der Richtung der maximalen Geschwindigkeit dagegen steckt die Konstruktion des Apparats eine bestimmte Grenze ab. Da nämlich von

Digitized by Google

dem Augenblicke an, da der Strom geschlossen wird, bis die Bremse wirkt, gewisse Zeit verstreicht, so wird der Zeiger *Z* notwendigerweise eine um so längere Strecke durch das Quecksilber zurücklegen, je gröfser die Geschwindigkeit der Zeiger ist. Bei sehr grofser Rotationsgeschwindigkeit wird es daher eintreffen können, dafs *Z* aufser Kontakt mit dem Quecksilber gekommen ist, bevor die Bremse ihre Wirkung geübt hat, und dann kann der Strom die Bewegung folglich gar nicht hemmen. Dies traf bei einer Umlaufszeit von 0,9 Sek. ein; es war deshalb nicht thunlich, die Geschwindigkeit gröfser als einen Umlauf pr. Sek. zu machen, welche übrigens auch völlig genügte. Nimmt man einen gröfseren Quecksilbernapf, so kann man natürlich auch gröfsere Geschwindigkeit anwenden.

Bei meinen Versuchen kamen stets fünf bestimmte Umlaufszeiten zur Anwendung, nämlich 1,0—1,7—2,8—5,9 und 10,0 Sek. Mit jeder dieser Zeiten wurden an jeder V-P zehn Versuche angestellt, indem nach jedem einzelnen Versuche die gegenseitige Stellung der Zeiger verändert wurde, so dafs die V-P nie vorher wissen konnte, bei welcher Stellung des Zeigers *V* das Schallsignal zu erwarten sei. Die Aufgabe der V-P war in allen Fällen dieselbe, nämlich die Schätzung, auf welchem Teilstriche der Zeiger beim Hören des Signales stand. Diese Schätzung wurde aber unter zwei verschiedenen subjektiven Bedingungen abgegeben. In einer Versuchsreihe hatte die V-P ihre Aufmerksamkeit ausschliefslich auf den Zeiger zu konzentrieren und das Schallsignal kommen zu lassen, wie es sich nun treffen möchte. In einer anderen Reihe sollte die Aufmerksamkeit auf das erwartete Signal konzentriert werden, während die Augen mit möglichst geringer Aufmerksamkeit die Bewegung des Zeigers verfolgten. Der Kürze wegen nenne ich den ersteren Fall die »visuelle«, letzteren die »auditive« Aufmerksamkeit. In zwei anderen Versuchsreihen, die übrigens nur mit zwei Versuchspersonen angestellt wurden, wandte ich statt des Schallsignals einen Schlag auf die Hand an. Der Signalhammer diente zur Erzeugung dieses Schlages. Die Glocke *K* (siehe Fig. 8) wurde abgeschraubt, und die V-P brachte an deren Platz ihre Hand an, indem sie

mit der Hand den Ständer *S* umfafste. Beim Niederschlagen trifft der Hammer jetzt die Hand, und statt einer Schallempfindung erhält man eine Tastempfindung. Mittels dieser Anordnung wurde ebenfalls eine doppelte Versuchsreihe durchgeführt, teils mit visueller, teils mit »taktiler« Aufmerksamkeit. Im ersteren Falle war die Aufmerksamkeit also auf den Zeiger, im letzteren auf die erwartete Tastempfindung konzentriert.

Als unmittelbares Resultat der Versuche gehen nun die längst bekannten Thatsachen hervor, dafs 1) gewöhnlich eine Verschiebung der Reize stattfindet, indem das Signal (der Schall oder die Berührung) nicht bei derjenigen Stellung der Zeiger aufgefafst wurde, bei welcher es thatsächlich eintraf, 2) dafs diese Verschiebung bald positiv (in der Umlaufsrichtung des

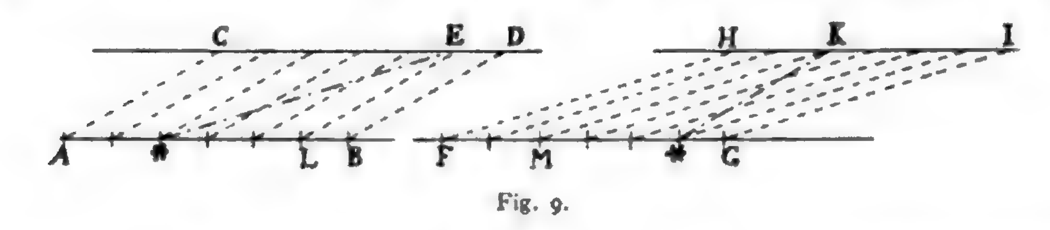


Fig. 9.

Zeigers), bald negativ ist, und 3) dafs die Verschiebung gewöhnlich von der Rotationsgeschwindigkeit abhängig ist[1]. Das Neue, das aus den Versuchen hervorgeht, ist die oben berührte Eigentümlichkeit, dafs die Richtung der Verschiebung ausschliefslich durch die Richtung der Aufmerksamkeit bestimmt wird. Ist die Aufmerksamkeit visuell, auf den Zeiger gerichtet, so wird die Verschiebung stets positiv sein, d. h., das Signal wird gleichzeitig mit einer späteren Stellung des Zeigers als derjenigen, mit welcher es thatsächlich gleichzeitig war, aufgefafst. Ist die Aufmerksamkeit dagegen auf das Signal gerichtet, also entweder auditiv oder taktil, so wird die Verschiebung negativ, d. h., das Signal wird bei einer früheren Stellung des Zeigers aufgefafst als derjenigen, mit welcher es wirklich gleichzeitig eintraf. Dies stimmt ganz mit unseren theoretischen Erwartungen und mit Weyers Versuchen überein, wie sich mittels einer bildlichen Darstellung leicht nachweisen läfst. In der Fig. 9 sei die Linie *AB* die laufende

[1] Wundt: Phys. Psych. II. Aufl. 4. S. 394 u. f.

Digitized by Google

Zeit; die kleinen Querstriche bezeichnen die successiven Stellungen des Zeigers, welche die Einteilungen des Kreisringes verdecken. Der angebrachte * gibt an, wo das Schallsignal eintritt. Die Frage ist nun die, wann diese verschiedenen Sinnesreize zum Bewufstsein gelangen. Da die Nervenleitung aus dem Sinnesorgane bis zum Gehirn stets einige Zeit erfordert, leuchtet es ein, dafs die Empfindung nicht in demselben Moment entstehen kann, in welchem das Sinnesorgan gereizt wird. Der Lichtreiz *A* wird also erst ein wenig später ein Gesichtsbild hervorrufen; diesen Zeitpunkt mag *C* bezeichnen. Alle folgenden Stellungen des Zeigers kommen daher um ebensoviel später zum Bewufstsein; dies ist in der Figur durch die schrägen parallelen Linien angegeben, welche *AB* mit *CD* verbinden. Nehmen wir nun an, dafs die Aufmerksamkeit visuell, auf die Bewegung des Zeigers gerichtet war, so sollen der Theorie zufolge die Lichtreize verhältnismäfsig geschwind zum Bewufstsein kommen, während das Schallsignal längere Zeit erfordern soll. Dies ist in der Figur dadurch angegeben, dafs die schräge Linie **E* länger als die mit *AC* parallelen ist. Das Schallbild entsteht also erst im Zeitmomente *E*, zu diesem Zeitpunkte entsteht aber zugleich das Gesichtsbild einer Zeigerstellung *L*, die faktisch erst weit später eintraf als das Schallsignal bei *. Die Theorie verlangt, dafs der Lichtreiz, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet ist, früher zum Bewufstsein komme als der gleichzeitige Schallreiz, auf den sich die Aufmerksamkeit nicht richtet. Und die Figur zeigt, wie die Folge hiervon werden mufs, dafs der Schall gleichzeitig mit einer Zeigerstellung aufgefafst wird, welche in der That später eintraf als das Schallsignal, oder mit anderen Worten: die Schallverschiebung mufs positiv werden, in der Umlaufsrichtung des Zeigers gehen. Eben dies geht aber aus den Versuchen hervor: bei visueller Aufmerksamkeit ist die Verschiebung positiv.

Ist die Aufmerksamkeit dagegen auf das erwartete Schall- (oder Berührungs-)signal gerichtet, so soll dieses der Theorie zufolge verhältnismäfsig schneller zum Bewufstsein kommen als die successiven Zeigerstellungen. Im zweiten Teil der Fig. 9 bezeichnet *FG* die

Digitized by Google

Zeigerstellungen; diese kommen, verhältnismäfsig spät, um die Zeitpunkte *HI* zum Bewufstsein. Bei * trifft das Signal ein, auf welches die Aufmerksamkeit gerichtet ist; dasselbe kommt deshalb relativ früh, um den Zeitpunkt *K*, zum Bewufstsein. Zugleich entsteht aber das Gesichtsbild der Zeigerstellung *M*, die faktisch stattfand, bevor das Schallsignal fiel. Dieses Signal wird also als mit einer thatsächlich vorhergehenden Zeigerstellung gleichzeitig aufgefafst, oder mit anderen Worten: das Schallsignal hat sich in negativer Richtung verschoben. Eben dies zeigten auch die Versuche, und Theorie und Praxis befinden sich an diesem Punkte mithin in der schönsten Übereinstimmung.

Wenn, wie wir sahen, die Richtung der Verschiebung ausschliefslich von der Richtung der Aufmerksamkeit abhängig ist, so wird wahrscheinlich auch die Gröfse der Verschiebung nur davon abhängig sein, ob die Aufmerksamkeit mehr oder weniger stark in bestimmter Richtung konzentriert ist. Dies eben hat Wundt nachgewiesen; wenn die Aufmerksamkeit nicht willkürlich in bestimmer Richtung gelenkt ist, wird die negative Zeitverschiebung bei wachsender Rotationsgeschwindigkeit immer kleiner, weil die schnellere Bewegung der Zeiger eine mehr visuelle Aufmerksamkeit erfordert. Bei konstantem Grade der Aufmerksamkeit sollte die Verschiebung dagegen konstant werden, von allen äufseren Verhältnissen, besonders der Rotationszeit, unabhängig. Dies scheint auch der Fall zu sein. Natürlich wird die Verschiebung, in Graden des eingeteilten Kreises ausgedrückt, um so gröfser werden, je gröfser die Geschwindigkeit des Zeigers ist; durch die Zeitdauer ausgedrückt wird die Verschiebung indes annähernd eine konstante Gröfse. Der Kreis war, wie oben angegeben, in 60 Teile geteilt; findet man nun in einem gegebenen Falle, dafs die Verschiebung a Teile beträgt, während die Umlaufszeit des Zeigers *t* ist, so wird die Verschiebung, durch die Zeit ausgedrückt, also at 60 sein. Die Tab. 34 gibt eine Übersicht über die Verschiebung bei den im Vorhergehenden besprochenen Versuchen; um Brüche zu vermeiden, ist die Zeit hier in Tausendsteln Sekunden angegeben. In der Kolonne links ist die in Sekunden angegebene Umlaufszeit des Zeigers

angeführt. Übrigens zerfällt die Tabelle in drei Abschnitte, deren jeder einer der drei Versuchspersonen entspricht. Für eine derselben sind nur zwei kürzere Versuchsreihen mit bezw. visueller und auditiver Aufmerksamkeit angegeben; für die beiden anderen haben wir vier Reihen, nämlich teils mit visueller und auditiver, teils mit visueller und taktiler Aufmerksamkeit. Jede der angegebenen Zahlen ist die Mittelzahl von zehn selbständigen Versuchen mit Umstellung des Zeigers nach jedem einzelnen Versuche.

Tab. 34.

V-P	Vi.		Fnn.				G.			
t	vis.	aud.	vis.	aud.	vis.	takt.	vis.	aud.	vis.	takt.
10			+ 167	— 100	+ 133	— 117	+ 184	— 133	+ 467	— 200
5,9	+ 20	— 40	+ 108	— 59	+ 98	— 118	+ 157	— 118	+ 419	— 157
2,8	+ 18	— 40	+ 98	— 75	+ 61	— 89	+ 196	— 117	+ 327	— 173
1,7	+ 40	— 56	+ 82	— 60	+ 79	— 116	+ 119	— 145	+ 264	— 224
1,0	+ 40	— 50	+ 153	— 62	+ 133	— 120	+ 122	— 165	+ 220	— 277
M.	+ 29,5	— 46,5	+ 122	— 71	+ 101	— 112	+ 156	— 136	+ 339	— 206
M.V.	10,5	6,5	31	13	26	9	28	16	83	35

Aus der Tabelle geht nun erstens hervor, dafs die Verschiebung bei visueller Aufmerksamkeit positiv, in allen anderen Fällen aber negativ ist; dies wurde bereits im Vorhergehenden erörtert. Ferner sehen wir, dafs die Zahlen jeder einzelnen Kolonne bei verschiedener Rotationszeit aber konstanter Richtung der Aufmerksamkeit zwar nicht so wenig schwanken, jedoch durchaus keine Gesetzmäfsigkeit darbieten. Die Variation mufs deshalb gewifs von Schwankungen der Stärke der Aufmerksamkeit herrühren, und hierin liegt nichts Sonderbares, da es äufserst schwierig ist, die Aufmerksamkeit mit konstanter Stärke in einer gegebenen Richtung konzentriert zu halten, wenn man weifs, dafs in einer ganz anderen Richtung ein Reiz erwartet werden kann, den man ebenfalls auffassen soll. Der Mittelwert der Zahlen jeder einzelnen Kolonne darf deswegen als der genaueste Ausdruck für die Gröfse der Verschiebung betrachtet werden; diese Mittelwerte sind in der Reihe

Digitized by Google

M angegeben, und unter dieser, in der Reihe *MV*, ist die mittlere Variation, d. h. das Mittel der Abweichung der einzelnen Gröfsen vom mittleren Werte angeführt. Hier zeigt sich nun eine andere Gesetzmäfsigkeit, indem die mittlere Variation bei den mit visueller Aufmerksamkeit unternommenen Versuchen durchweg gröfser ist als bei den anderen Versuchen. Dies ist auch begreiflich, denn bei visueller Aufmerksamkeit findet sich die fortwährende Geneigtheit, die Aufmerksamkeit zum Teil auf das erwartete Signal zu richten; deshalb schwankt die Stärke der Aufmerksamkeit bedeutend, wozu sich dagegen keine Ursache findet, wenn die Aufmerksamkeit auf das Signal gerichtet sein soll, denn den Zeiger hat man stets vor Augen, dieser kann der Aufmerksamkeit nicht entgehen, selbst wenn letztere auf das Signal konzentriert ist. Folglich werden die mittleren Variationen im letzteren Falle kleiner als im ersteren.

Was die grofse Verschiedenheit der Zahlen betrifft, die sich hinsichtlich der drei Versuchspersonen zeigt, so darf dieselbe nicht als eine individuelle Verschiedenheit betrachtet werden, die ihren Grund in der gröfseren oder geringeren Geschwindigkeit der Vorgänge bei dem einzelnen Individuum fände. Die Verschiedenheit ist einfach eine Folge der Art und Weise, wie jede V-P bei den Beobachtungen mit vollem Bewufstsein verfuhr. Vi. bestrebte sich fortwährend, seine Aufmerksamkeit einigermafsen gleich unter die beiden Reize zu verteilen; G. ging zur entgegengesetzten Äufserlichkeit und konzentrierte sich mit voller Stärke auf einen derselben; Fnn. schlug eine passende Mittelstrafse ein. Offenbar ist es hiermit übereinstimmend, dafs Vi. für die Verschiebung kleine Werte erhielt, da der eine Reiz nicht auf Kosten des anderen sehr begünstigt wurde, während G. dagegen bis 10 mal so grofse Verschiebungen erhält, da die Aufmerksamkeit so stark nach einer einzigen Richtung konzentriert ist, dafs der andere Reiz sich nur mit Mühe den Weg zum Bewufstsein bahnt. Zwischen diesen beiden Äufserlichkeiten liegen die Zahlen für Fnn. In all diesem liegt aber nicht notwendigerweise etwas Individuelles; Vi. hätte ebenso grofse Zahlen wie G. erhalten können, wäre er auf dieselbe Weise

Digitized by Google

verfahren. Die Zahlen legen nur dar, dafs die Gröfse der Verschiebung durch den Grad der Aufmerksamkeit bestimmt ist. Wir können somit feststellen:

Bei der Auffassung gleichzeitiger Reizungen verschiedener Sinnesorgane findet der Erfahrung gemäfs zwischen den ausgelösten Empfindungen eine zeitliche Verschiebung statt. Es erweist sich, dafs die Richtung und die Gröfse dieser Verschiebung ausschliefslich durch die Richtung und die Stärke der Aufmerksamkeit bestimmt sind, indem der Reiz, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet ist, zuerst zum Bewufstsein kommt und zwar um so früher, je mehr die Aufmerksamkeit auf denselben konzentriert wird. Diese Verhältnisse sind als natürliche Konsequenzen der oben dargestellten Theorie von der Aufmerksamkeit zu verstehen.

DIE DYNAMISCHEN VERHÄLTNISSE DER GEFÜHLE.

Lust und Unlust. Im Vorhergehenden berücksichtigten wir ausschliefslich solche psychischen Zustände und Thätigkeiten, die entweder ganz ohne Gefühlsbetonung sind, oder bei denen diese doch nur so wenig hervortritt, dafs man, ohne einen gröfseren Fehler zu begehen, von derselben abstrahieren kann. Wir schreiten nun zur Untersuchung der Energieverhältnisse bei den eigentlichen Gefühlen, den entschiedenen Zuständen der Lust oder Unlust. Hier müssen wir ganz gewifs darauf vorbereitet sein, höchst eigentümliche Erscheinungen anzutreffen. Denn Férés Untersuchungen zufolge sollten Unlustgefühle allerdings eine Verminderung der gleichzeitigen Muskelarbeit bewirken — was an und für sich nicht sonderbar wäre — Lustgefühle dagegen sollten eine Vermehrung der Muskelarbeit herbeiführen. Da diese Erscheinung in entschiedenem Widerspruche mit allem früher von uns Gefundenen steht, wird es gewifs

Digitized by Google

der Mühe wert sein, sie einer weit eingehenderen Untersuchung zu unterwerfen, weil eine genaue Feststellung der Bedingungen für eine derartige Vermehrung der Muskelkraft durch gleichzeitige psychische Zustände zweifelsohne neues Licht über die Natur der Gefühle verbreiten wird.

Alle die Schwierigkeiten, die stets mit der experimentellen Erzeugung von Lustgefühlen verbunden sind, und die ich im 1. Teile dieses Werkes S. 129 u. f. näher erörtert habe, treffen wir bei diesen Versuchen wieder an. Hierzu kommen aber noch mehrere andre, die durch die eigentümlichen Verhältnisse bedingt sind, unter welchen sich die V-P befindet. Sitzt jemand in einem Sessel, ohne sonst etwas zu thun zu haben, als nur, sich sowohl psychisch als physisch möglichst ruhig zu verhalten, so ist es jedenfalls nicht schwer, ihn zum Objekte verschiedener Reizungen zu machen. Man kann ihm ein Riechfläschchen unter die Nase halten, ihm wohl- oder übelschmeckende Stoffe löffelweise eingeben, ihn Bilder betrachten lassen u. s. f. Weit ungünstiger stellen sich die Verhältnisse dagegen, wenn die V-P am Ergographen arbeitet. Ihre Aufmerksamkeit wird schon vorher durch die gewaltige Muskelanspannung stark beansprucht, sie sitzt selten vollkommen ruhig, so dafs es oft schwierig ist, eine hinlänglich kräftige Reizung hervorzubringen, und in vielen Fällen wird der Reiz die Aufmerksamkeit in so hohem Grade von der Muskelarbeit ablenken, dafs die Änderung des Ergogramms durchaus nicht als Ausdruck des hervorgerufenen Gefühlszustandes betrachtet werden kann. Nur durch Geruchsreize war ich im stande, diesen verschiedenen Schwierigkeiten zu entgehen, indem der Stoff mittels einer Spray in einem kräftigen Strahl an dem Gesichte der V-P vorbei gesandt wurde. Da die Atmung wegen der Muskelarbeit stets ein wenig beschleunigt war, wurde die V-P hierdurch gezwungen, den Stoff in reichlicher Menge einzuatmen, ohne dafs dies ihr besondere Anstrengung kostete oder die Aufmerksamkeit beanspruchte. Auf diese Weise gelang es meistens, ein den Umständen nach recht kräftiges Lustgefühl hervorzurufen, dennoch war das Ergebnis der Versuche aber durchweg negativ. Nur ausnahmsweise war es möglich,

Digitized by Google

die von Féré gefundene Vermehrung der Muskelarbeit festzustellen. Wir gehen nun erst eine Reihe von Versuchen im einzelnen durch und untersuchen darauf, was diese Abweichung von Férés Resultaten verursachen kann.

Pl. XXIX, A. d. 22/2. Dr. B. Lavendelöl. Takt 40 pr. Min.

Die Reizung fand zwischen den beiden Pfeilen statt, und es erscheinen hier ein paar kleine Senkungen, welche andeuten, daſs die Aufmerksamkeit der Muskelarbeit entzogen wurde, eine Vermehrung der letzteren ist jedoch nicht zu spüren, weder während der Reizung, noch nach derselben. Die Kurve ist übrigens völlig typisch; ich besitze eine Reihe ähnlicher, von verschiedenen Versuchspersonen ausgeführter Kurven, die sich alle durch ein ebenso negatives Resultat auszeichnen. Das Verhältnis ist hier offenbar ganz das nämliche, das wir oben hinsichtlich nicht-gefühlsbetonter sinnlicher Wahrnehmungen fanden; diese zeigten ebenfalls keinen meſsbaren Einfluſs auf die gleichzeitige Muskelarbeit. Indes äuſserte eine meiner Versuchspersonen einst, der Grund des negativen Resultates liege wahrscheinlich darin, daſs die V-P die Reizung nicht in guter Ruhe genieſsen könne; führe man dagegen das Ergogramm bei langsamerem Takte aus, so könne das Ergebnis möglicherweise ein anderes werden. Dies verdiente wenigstens einen Versuch, und es wurden deshalb eine Reihe Ergogramme im Takte 12 pr. Min. ausgeführt, was der V-P etwa 4 Sek. lang völlige Ruhe zwischen den einzelnen Partialarbeiten gewährte. Irgend eine wesentliche Verbesserung scheint diese Veränderung doch nicht herbeigeführt zu haben, wie aus den folgenden Kurven hervorgeht.

Pl. *XXIX, B.* d. 12/3. Dr. B. Menthol. Takt 12 pr. Min.

Pl. XXIX, C. d. 29/3. Fnn. Menthol. Takt 12 pr. Min.

Keines dieser Ergogramme zeigt entschiedene Wirkung des Lustgefühls, obgleich dieses nach Angabe beider Versuchspersonen sehr deutlich war; die Einatmung der Pfeffermünzessenz wirkte höchst erfrischend und ermunternd. In der letzteren der beiden Kurven wurde die Reizung wiederholt, was die V-P ein wenig

Digitized by Google

beunruhigte, da sie nicht wufste, was die Absicht war; diese Unruhe verrät sich durch die unmittelbar nachfolgende Senkung, die sich später verliert. Ein positives Resultat der lusterregenden Reizung wird sich in diesen Ergogrammen aber wohl schwerlich nachweisen lassen. Nur in einem einzigen Falle erhielt ich entschiedene Vermehrung der Muskelarbeit unter diesen Verhältnissen. Das Ergogramm ist wiedergegeben:

Pl. XXIX, D. d. $^{31}/_{8}$. A. L. Menthol. Takt 12 pr. Min.

Hier findet sich, wie man sieht, eine unbestreitbare Steigerung, die kurz nach dem Anfange der Reizung beginnt und bis lange nach dessen Abschlusse andauert. Die Ursache dieses Resultates ist möglicherweise die, dafs die V-P von der Arbeit des Tages etwas ermüdet war, weshalb der erheiternde Einflufs der Pfeffermünze sich mit besonderer Stärke geltend machte. Rein individuell war diese Erscheinung jedenfalls nicht, denn bei der Wiederholung desselben Versuches an einem anderen Tage wurde das Resultat ebenso negativ wie hinsichtlich der anderen Versuchspersonen. Damit ein lusterregender Reiz überhaupt auf das Ergogramm influiere, scheint die Bedingung also erfüllt werden zu müssen, dafs das Lustgefühl recht bedeutende Stärke erhält; in diesem Falle bewirkt dasselbe eine merkliche Vermehrung der Muskelarbeit[1].

Trotz des äufserst geringen positiven Erfolgs dieser Versuche ziehe ich dennoch nicht in Zweifel, dafs Férés Wahrnehmung richtig ist, und dafs das erwähnte Ergogramm, Pl. XXIX, D, demgemäfs erklärt werden mufs. Aus dem täglichen Leben ist es ja eine bekannte Sache, dafs starke Lustgefühle wirklich die Innervation der willkürlichen Muskeln verstärken. Man sieht dies an den Kindern, die vor Freuden tanzen und in die Hände

[1] Es mufs übrigens möglich sein, eine Vermehrung der Muskelarbeit auch bei schwächeren Lustgefühlen nachzuweisen. Wenn man nämlich statt mit der ganzen Hand nur mit einem einzelnen Finger arbeitet (wozu mein Ergograph sich leicht einrichten läfst), so mufs die zur Innervation erforderliche Energie geringer sein, und folglich mufs ein durch Bahnung aus einem Lustgefühl hervorgerufener Zuwachs in der ausgeführten Arbeit zu spüren sein. Leider fiel mir dieser Ausweg erst so spät sein, dafs es mir nicht möglich war, denselben zu prüfen.

Digitized by Google

klatschen. Und jeder Turner weifs aus Erfahrung, welchen Einflufs Musik, Zuschauer und überhaupt eine festliche Stimmung auf seine Leistungen haben können; unter solchen Verhältnissen springt man leicht ein paar Centimeter höher als gewöhnlich. Die Thatsache selbst, dafs Lustgefühle die gleichzeitig ausgeführte Muskelarbeit vermehren, scheint also unbestreitbar zu sein. Es wird daher nur die Frage, weshalb Féré derartige Versuche in so grofsem Umfange gelangen, während die meinigen nur ausnahmsweise ein unzweifelhaftes Resultat gaben. Viele Aufschlüsse gibt Féré freilich nicht über die Verhältnisse, unter denen seine Versuche angestellt wurden, an diesem Punkte läfst er uns aber doch nicht im Stiche. Soweit ich zu sehen vermochte, geht nämlich aus seinem Werke hervor, dafs nur ein einziger dieser Versuche mit einem normalen Menschen angestellt wurde[1], alle anderen wurden an Hysterikern unternommen. Dies macht die Sache verständlich, denn Hysteriker sind nicht nur für alle lusterregenden Reizungen höchst empfänglich, sondern auch sehr suggestibel. Dieser Umstand erklärt, dafs die Vermehrung der Muskelkraft bei Férés Versuchen nicht nur die starken Gefühle begleitet, sondern auch als Folge solcher Sinnesreize zum Vorschein kommt, die bei normalen Menschen nur schwach betonte Empfindungen hervorrufen, z. B. einzelne Töne und Farben. Die Regelmäfsigkeit, mit welcher bestimmte Töne und Farben auf Férés Versuchspersonen wirken, und die enorme Zunahme der Muskelkraft, die durch diese Reize verursacht wird[2], würden ganz unverständlich sein, wenn man nicht wüfste, dafs es sich hier um Hysteriker handelt, die wahrscheinlich unter dem Einflusse kräftiger Suggestionen standen. Hierdurch verlieren die Versuche allerdings an überzeugender Kraft, anderseits gelangen wir aber zum Verständnisse, weshalb etwas Derartiges sich mit normalen Individuen nicht nachmachen läfst. Als Resultat dieser verschiedenen Erfahrungen können wir nun folgendes behaupten:

[1] Sensation et mouvement. S. 63.
[2] Ibid. S. 33—50.

Bei normalen Menschen werden einfache, lustbetonte Empfindungen nur ausnahmsweise, nämlich wenn das Gefühl wegen besonderer Verhältnisse ungemein stark wird, einen nachweisbaren Einflufs auf die gleichzeitige Muskelarbeit üben. Wird ein Lustgefühl irgend einer Art aber so stark, dafs es auf die Muskelarbeit influiert, so scheint es der Erfahrung nach deren Zunahme zu bewirken.

Bevor wir zur Untersuchung schreiten, wie diese eigentümliche Wirkung zu stande kommt, wird es zweckmäfsig sein, vorerst die entsprechenden Verhältnisse der Unlustgefühle zu erörtern, weil man bei einer Erklärung der Wirkungen des Gefühls natürlich beide Gefühlsarten zugleich berücksichtigen mufs. Was den Einflufs der Unlustgefühle auf die Muskelarbeit betrifft, so bietet es keine Schwierigkeit dar, denselben zu konstatieren. Erstens ist es ja viel leichter, starke Unlustgefühle experimentell zu erzeugen, und ferner scheinen die Verhältnisse überhaupt mehr ausgeprägt zu sein. Zu den Reizungen benutzte ich teils Geschmacksstoffe (doch nur in geringem Umfang, weil deren Applikation auf die Muskelarbeit störend einwirkte), und teils hohe Temperatur, indem eine kleine Kolbe mit heifsem Wasser an dem entblöfsten rechten Arm angebracht wurde, während der linke Arm am Ergographen arbeitete. Die Versuche ergeben die völlige Bestätigung von Férés Resultaten. Schon ein unangenehmer Geschmacksreiz genügt, um eine deutliche Arbeitsverminderung zu bewirken; dies geht z. B. hervor aus:

Pl. XXIX, E. d. 3/8. A. L. Ein Theelöffel voll 10%-haltiger Chininauflösung.

Beim Pfeile wurde der Stoff eingegeben. Die sogleich eintretende kleine Senkung rührt wahrscheinlich nur von der durch die Annahme des Stoffes verursachten Störung her, nach drei gröfseren Partialarbeiten erblickt man aber eine sehr entschiedene Senkung. Da der Geschmack, wie es so oft geht, plötzlich aufhörte, stieg die Kurve sogleich, um wieder zu sinken, als der unangenehme Geschmack von neuem eintrat. Sehr häufig wurde diese Erscheinung konstatiert, dafs das

Aufhören der unangenehmen oder schmerzlichen Empfindung sofort ein Steigen des Ergogramms bewirkte, das aufs neue sank, wenn die Empfindung sich wieder einstellte. Besonders der Schmerz bei Hitze zeichnet sich durch seinen periodischen Charakter, sein Aufflammen und plötzliches Erlöschen aus, so daſs das Ergogramm bei derartigen Versuchen fast immer Schwankungen zeigt, die mit den Variationen der Empfindung gleichzeitig sind. Dies tritt hübsch hervor:

Pl. XXIX, F. d. 22/2. Dr. B. Wasser 84° C. am rechten Arm.

Die Senkung ist hier eine so entschiedene, daſs man ohne Schwierigkeit die Arbeitsverminderung zu berechnen vermag. Zu diesem Zwecke zeichnete ich auf gewöhnliche Weise den wahrscheinlichen Verlauf des Ergogrammes ein, wonach ich die verschiedenen Gröſsen berechnete. Man findet:

$$A_s = 57{,}5 \qquad A_r = 51{,}2 \qquad A_s - A_r = 6{,}3 \qquad M = 0{,}11.$$

Es ist also kein ganz verschwindender Bruchteil der disponibeln Energie, der zur Erzeugung der schmerzhaften Hitzeempfindung verbraucht wird. Natürlich wird dieser Energieverbrauch ganz von der Stärke des Gefühls abhängig sein. Dies geht aus den beiden folgenden Kurven hervor:

Pl. XXX, A. d. 22/2. A. L. Wasser 76° C. am rechten Arm, kaum schmerzhaft.

Pl. XXX, B. d. 22/2. A. L. Wasser 84° C. am rechten Arm; schmerzhaft.

Im ersteren Falle dauerte die Reizung ziemlich lange, weil das heiſse Wasser der Verabredung gemäſs erst entfernt wurde, wenn die V-P klagte. Trotz der langen Dauer der Reizung war der Schmerz doch nur ein geringer, und demgemäſs zeigt das Ergogramm auch keine entschiedene Senkung. In der Kurve B dagegen, wo das Wasser so heiſs war, daſs es fast augenblicklich wieder entfernt werden muſste, sehen wir zwei stark markierte Senkungen. Es wurde hier konstatiert, daſs der Schmerz während des Zwischenraums, der die Senkungen trennt, verschwunden war. Das periodische Aufflammen des Schmerzes ist bei diesen Versuchen fast

Digitized by Google

die Regel; als eine Ausnahme ist der folgende Fall zu betrachten:

Pl. XXX, C. d. 8/8. Fnn. Wasser 84° C. am rechten Arm.

Hier ist nur eine einzige Senkung, die bei fast konstanter Höhe der Partialarbeiten andauert, bis der Schmerz sich verloren hat. Der Schlufs des Ergogramms bildet offenbar die natürliche Fortsetzung von dessen Anfange. Übrigens war der Schmerz, den dieser Versuch der betreffenden V-P verursachte, ein ganz ernstlicher; jedenfalls wünschte die V-P keine Wiederholung. Als ich nach einiger Zeit den Versuch nichtsdestoweniger wiederholte, erhielt ich folgendes, interessantes Resultat:

Pl. XXX, D. d. 10/4. Fnn. Wasser 84° C. am rechten Arm.

Das Ergogramm als Totalität ist ganz abnorm. Es beginnt mit einer längeren Reihe verhältnismäfsig kleiner Partialarbeiten von konstanter Gröfse, und ein wenig vor dem Eintreten der Reizung findet ein starkes Sinken statt. Die Kurve erschien mir so merkwürdig, dafs ich die V-P ausfragte, was denn los gewesen sei. Sie gestand, dafs sie gleich von Anfang des Versuches an eine nicht unbedeutende Angst gefühlt habe, und dieses Gefühl sei in dem Augenblicke, da ich mich mit dem heifsen Wasser nahte, also kurz vor der Applikation des Reizes, stark hervortretend geworden. Der Versuch ist daher ganz interessant, weil er deutlich zeigt, dafs ein Unlustaffekt wie die Furcht lähmende Wirkung auf die willkürlichen Muskeln übt. Dies wufste man freilich schon vorher, die experimentelle Bestätigung der Sache kann aber doch nichts schaden. Das Ergebnis dieser Versuche wird also:

Einfache unangenehme und schmerzhafte Empfindungen, wie auch Unlustaffekte (Furcht) bewirken eine Verminderung der gleichzeitigen Muskelarbeit, die um so beträchtlicher wird, je stärker das Gefühl ist.

Wir sehen also, dafs Unlustgefühle, Schmerz u. dgl. eine mefsbare Arbeitsverminderung bewirken, deren Gröfse von der Stärke des Gefühls abhängig ist. An der relativen Arbeitsverminderung haben wir folglich

Digitized by Google

ein Mafs für die Stärke des Gefühls, indem die relative Arbeitsverminderung *M* hier ebenso wie bei den intellektuellen Erscheinungen denjenigen Bruchteil der freien Energie des Gehirns angeben mufs, der zur Erzeugung des psychischen Zustandes verbraucht wird. Hierdurch sind wir so weit gelangt, dafs wir eine Thatsache zu erklären vermögen, die im Vorhergehenden dargestellt wurde, deren erschöpfende Behandlung wir aber vorläufig aufschieben mufsten. Wir meinen hiermit den eigentümlichen Verlauf der begrenzten Ergogramme. Für die unbegrenzten Ergogramme und den ersten Teil der begrenzten fanden wir nämlich folgenden Ausdruck für die Gröfse der Arbeit:

$$A = q + c_2 \log.(R + y) + q_2 \log.\left[q_1 - \log.(R + y)\right] \,.\,. \text{(Gl. 51)}.$$

Es zeigt sich indes, dafs diese Formel von dem Augenblicke an, da die Muskelermüdung schmerzhaft zu werden anfängt, nicht mehr gültig ist; man erhält dann folgenden Ausdruck:

$$A_1 = q + c_2 \log.(R + y) + q_2 \log.\left[q_1 - \log.(R + y)\right] - q_3(R - q_4) \quad \ldots . \text{(Gleich. 52)}.$$

Die Formel zeigt, dafs von dem Eintritt des Müdigkeitsschmerzes an eine Kraft wirkt, welche den Arbeitszuwachs vermindert, und eben dieser Umstand bewirkt, dafs die Ergogramme begrenzt werden, indem die Partialarbeiten gegen Null konvergieren. Oben (S. 143 u. 170) konnten wir uns nicht darauf einlassen, die Ursache dieser Erscheinung zu untersuchen; auf unserem gegenwärtigen Standpunkte scheint die Sache dagegen durchaus keine Schwierigkeit darzubieten. Denn wenn jede Unlust einen Energieverbrauch verursacht, der sich durch eine Verminderung der gleichzeitigen Muskelarbeit kundgibt, so mufs dies zweifelsohne auch für den von der Muskelermüdung herrührenden Schmerz gelten. Oder mit anderen Worten: wenn die Muskelermüdung einen gewissen Grad erreicht, wird der hierdurch ausgelöste zentrale Prozefs einen so grofsen Energieverbrauch erfordern, dafs dieser die zentrale Innervation des Muskels direkt hemmt und sich folglich durch eine Verminderung der geleisteten Arbeit äufsert. Es ist daher ganz natürlich, dafs die Arbeit nicht nach dem-

Digitized by Google

selben Gesetze weiter anwachsen kann, das gültig ist, solange keine Hemmung der Innervation stattfindet. Gehen wir nun von der Richtigkeit dieser Erklärung aus, so können wir aus Gleich. 52 einen Ausdruck dafür ableiten, wie der Schmerz zunimmt, wenn die Arbeit fortgesetzt wird.

Da A und A_1 in Gleich. 51, bezw. 52 die gesamte in R Partialarbeiten geleistete Arbeitsmenge ausdrückt, können wir leicht die Gröfse der R^{ten} Partialarbeit finden. Diese sei P_R unter der Voraussetzung, dafs sich kein Müdigkeitsschmerz geltend gemacht hat. Man findet nun P_R, indem man die in $R-1$ Partialarbeiten gelieferte Arbeit von der in R Partialarbeiten geleisteten Arbeit abzieht; die Differenz mufs gerade die Gröfse der R^{ten} Partialarbeit werden. Setzt man daher in Gleich. 51 $R-1$ statt R, und zieht man den somit entstandenen Ausdruck von Gleich. 51 ab, so erhält man:

$$P_R = c_2 \log. \frac{R+y}{R-1+y} + q_2 \cdot \log. \frac{q_1 - \log.(R+y)}{q_1 - \log.(R-1+y)}$$

Hat dagegen ein die Muskelarbeit hemmender Müdigkeitsschmerz gewirkt, so wird die R^{te} Partialarbeit die Gröfse p_R erhalten, und diese bekommt man aus Gleich. 52 auf dieselbe Weise, wie P_R aus Gleich. 51 abgeleitet wurde. Also:

$$p_R = c_2 \log. \frac{R+y}{R-1+y} + q_2 \log. \frac{q_1 - \log.(R+y)}{q_1 - \log.(R-1+y)} - q_3 = P_R - q_3.$$

Hieraus folgt:

$$P_R - p_R = q_3 \quad \ldots\ldots \quad \text{(Gleich. 60)}.$$

In Worten ausgedrückt sagt Gleich. 60, dafs die durch den Müdigkeitsschmerz hervorgerufene Verminderung der Gröfse der einzelnen Partialarbeiten eine Konstante ist. Nun ist $P_R - p_R$ die absolute Arbeitsverminderung, die der Schmerz hervorgebracht hat: die relative Arbeitsverminderung, die das Mafs für die Stärke S des Schmerzes ist, erhält man hieraus durch Division mit P_R, also:

$$\frac{P_R - p_R}{P_R} = S = \frac{q_3}{P_R}.$$

Oder mit anderen Worten: der Müdigkeitsschmerz ist umgekehrt proportional zur Gröfse der Partialarbeiten.

Dieses Resultat, das mithin eine einfache mathematische Konsequenz der Gleich. 52 ist, stimmt mit der Erfahrung völlig überein. Setzt man die Muskelarbeit bis über den Punkt hinaus fort, wo die Ermüdung schmerzhaft wird, so wird der Schmerz fortwährend an Stärke zunehmen[1]. Die Selbstbeobachtung kann natürlich keine gesetzmäſsige Zunahme des psychischen Phänomens feststellen, sie gibt uns jedoch auch keinen Anlaſs, die Richtigkeit des gefundenen Ausdrucks zu bezweifeln. Da dieser also als mit der Erfahrung übereinstimmend zu betrachten ist, spricht diese Konsequenz für die Richtigkeit der Erklärung, die oben von der Ursache der begrenzten Ergogramme gegeben wurde. Wir stellen daher fest:

Wenn die Ermüdung durch Muskelarbeit schmerzhaft wird, so wird dieser Schmerz, wie jede andere starke Unlust, eine Hemmung der Muskelarbeit bewirken; dies ist die Ursache, weshalb begrenzte Ergogramme entstehen. Der fortwährend zunehmende Schmerz wird nämlich zur Folge haben, daſs jede einzelne Partialarbeit um eine konstante Gröſse vermindert wird, weshalb die Partialarbeiten nach Null konvergieren.

Kraepelins Vermutung, daſs das Aufhören einer Muskelarbeit von einer zentralen Hemmung herrühre (vgl. S. 143), hat hierdurch also ihre völlige Bestätigung gefunden, und wir haben nicht nur diese Hemmung nachgewiesen, sondern wir wissen auch, wodurch sie entsteht, und welchem Gesetze gemäſs sie anwächst. Überdies sehen wir, daſs diese Hemmung gar keine alleinstehende Erscheinung ist, sondern nur ein spezieller Fall des hemmenden Einflusses der Unlustgefühle auf gleichzeitige Muskelarbeit.

Die dynamische Gefühlstheorie. Nachdem wir nun über die eigentümlichen Energieverhältnisse ins reine

[1] Ich sehe hier von der unbestreitbaren Thatsache ab, die den meisten wohl aus dem täglichen Leben bekannt ist, daſs die Fortsetzung der Arbeit unter gewissen Verhältnissen die Überwindung der Müdigkeit bewirken kann. Die Erscheinung wurde oben (S. 141) berührt, muſs aber zum Gegenstand besonderer Untersuchungen gemacht werden.

gekommen sind, an welche die Entstehung der Gefühle sich der Erfahrung gemäfs als gebunden erweist, wird es natürlich zu untersuchen sein, in welchem Umfang diese Thatsachen zu unserem Verständnisse der Natur der Gefühle beitragen. Eine solche Untersuchung kann nicht wohl unterbleiben, da viele Psychologen gerade in der Lust und Unlust die psychische Äufserung des Verhältnisses zwischen der Leistungsfähigkeit des Zentralorgans und dem von einem gegebenen psychischen Zustand erforderten Energieverbrauch erblicken[1]. Für eine derartige Theorie werden die hier hervorgezogenen Thatsachen augenscheinlich entweder in positiver oder negativer Richtung von nicht geringer Bedeutung sein. Wir können nun auch nicht umhin, auf solche theoretischen Betrachtungen zu geraten, sobald wir die Frage stellen, wie man sich denn zu denken hat, dafs die Vermehrung der Muskelarbeit, welche die Lustgefühle begleitet, zu stande kommt.

Um diese merkwürdige Erscheinung zu erklären, sind zwei verschiedene Hypothesen aufgestellt worden. Die eine ist die schon in der Einleitung erwähnte Férésche: »les excitations périphériques déterminent une augmentation de l'énergie disponible, de la force utilisable«. Wie ich dort bemerkte, ist es durchaus nicht klar, was Féré mit diesen Worten meint; es ist nicht einmal zu ersehen, ob man sich zu denken habe, dafs die Energie der Muskeln oder die freie Energie des Gehirns zunehme. Es scheint sich nicht der Mühe zu lohnen, eine so verschwimmende Hypothese näher zu untersuchen; findet man sie unhaltbar in dieser oder jener Form, so wird der Urheber ja stets einwenden können, er habe sich die Sache auf ganz andere Weise gedacht. Unter allen den vielen möglichen Hypothesen, die sich unter Férés Worten verbergen, werde ich nur eine einzige hervorziehen, die mir doch einigen Sinn zu geben scheint, nämlich: dafs die freie Energie des Gehirns zunehme. Dies ist keineswegs undenklich. Ein wie grofser Teil der Totalenergie einer Kraftmaschine sich frei umsetzen läfst, hängt von verschiedenen Umständen ab und variiert deshalb mit diesen. So ist die

[1] Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. S. 153 u. f.

freie Energie einer Dampfmaschine keineswegs mit der Totalenergie gegeben, mit der Temperatur des Dampfes; sie ist in hohem Grade von dem Fallen der Temperatur abhängig; eine Veränderung der Temperatur des Kondensators wird daher auch das Verhältnis der freien Energie zur Totalenergie ändern. Bei den galvanischen Elementen ist dieses Verhältnis ebenfalls Schwankungen unterworfen, indem es sowohl kleiner als auch gleich mit und gröſser als 1 sein kann; übrigens ist es durch die Beschaffenheit der wirkenden chemischen Stoffe bedingt, weshalb man es zu beherrschen vermag. Hiermit in Analogie könnte man sich auch denken, daſs die freie Energie des Gehirns variierte, und da wir die Energie im Gehirn unter chemischer Form gegeben haben, müſste eine Veränderung des Verhältnisses zwischen der freien Energie und der Totalenergie auf der Beschaffenheit der Stoffe beruhen. Eine Veränderung in dieser Richtung scheint aber eine Änderung der Ernährungsthätigkeit vorauszusetzen, die also die primäre Wirkung des äuſseren Reizes würde. Diese Hypothese würde mithin zu der Annahme führen, daſs die primären Wirkungen Störungen des Blutumlaufs wären, die dann wieder so auf das Gehirn influierten, daſs eine vermehrte Innervation der willkürlichen Muskeln möglich würde.

So könnte sich die Sache freilich verhalten, es gibt aber, meines Wissens, nichts, das dafür spricht, daſs nur die Änderungen des Blutumlaufs primäre Wirkungen des lusterregenden Reizes sein sollten. Bekanntlich hat Lange auch angenommen, daſs die Freude nicht nur eine Erweiterung der Blutgefäſse, sondern auch eine Steigerung der Funktion des willkürlichen Bewegungsapparates primär herbeiführe[1]. Was auf diese Weise von dem Affekt der Freude angegeben wird, wird sich mit Recht aber auch so erweitern lassen, daſs es von den mehr normalen Lustgefühlen gilt, da diese Zustände sich wohl einzig und allein durch den Grad der Stärke voneinander unterscheiden. Es fällt nun auch nicht schwer, den Nachweis zu liefern, daſs die psychophysiologischen Prozesse, an welche die Entstehung der Lust-

[1] Über Gemütsbewegungen. S. 19.

Digitized by Google

gefühle gebunden ist, solcher Art sind, dafs sie als andere Prozesse anbahnend wirken müssen. Denn sowohl die Versuche als die tägliche Erfahrung zeigt, dafs während der Lustgefühle jedenfalls keine Verminderung der Muskelarbeit stattfindet. Dies lehrt uns, dafs der Energieverbrauch des arbeitenden Zentrums nur ein geringer sein kann, wenn ein Lustgefühl entsteht, denn jeder gröfsere Energieverbrauch mufs, wie wir oben sahen, notwendigerweise auf andere gleichzeitige Vorgänge hemmend wirken, mithin eine Verminderung der Muskelarbeit erzeugen. Ein kleinerer Energieverbrauch an einem einzelnen Punkte wirkt aber gewöhnlich bahnend, indem die Bewegung sich nach anderen Stellen verbreitet, ohne einen andauernden Energiezuflufs nach dem Ausgangspunkte hervorzurufen. Wenn eine derartige bahnende Bewegung sich zu den willkürlichen Bewegungstendenzen addiert, wird die Folge natürlich werden, dafs die Muskelinnervation zunimmt, und dies zeigt sich im Ergogramm als eine Vermehrung der Arbeit, im täglichen Leben als raschere und lebhaftere Bewegungen. Wird die Bahnung in den verschiedenen motorischen Zentren während einer Gemütsbewegung besonders stark, so werden leicht Bewegungen ausgelöst, die ohne diese Bahnung nicht zu stande kommen würden; deshalb werden Singen, Pfeifen, Tanzen und viel überflüssiges Reden die fast unvermeidlichen vernehmlichen Äufserungen eines solchen Affekts.

Die Zunahme der gleichzeitigen Muskelarbeit, die ein einigermafsen starkes Lustgefühl begleitet, ist also leicht als durch eine Bahnung verursacht zu verstehen, die wiederum dadurch bedingt ist, dafs der psychophysiologische Vorgang, an den das Gefühl gebunden ist, nur einen geringen Energieverbrauch erfordert. Dies stimmt auch damit überein, dafs es gewöhnlich die schwächeren Sinnesreize sind, die lustbetonte Empfindungen hervorrufen; ein zu starker Reiz wird einen gröfseren Energieverbrauch bewirken, der Unlust und Hemmung der Muskelarbeit zur Folge hat. Jedoch braucht dies nicht immer stattzufinden; ist die Reizung nur sehr kurz, so kann sie sehr wohl bedeutende Stärke erreichen, ohne darum eine Verminderung der Muskelarbeit herbeizuführen. In physio-

Digitized by Google

logischer Beziehung liegt hierin nichts Sonderbares. Der starke, aber kurzdauernde Reiz wird im empfangenden Zentrum allerdings ein bedeutendes Fallen des Potenzials hervorrufen, wenn der Reiz aber sogleich aufhört, kann kein andauernder Energiestrom nach dem Zentrum entstehen. Die Bewegung verbreitet sich also nur und nimmt somit ein Ende; zunächst müfste sie dann bahnend wirken. Die Versuche bestätigen dies. Jeder starke, aber hinlänglich kurze Reiz, dessen psychische Wirkung zunächst als Erschrecken zu bezeichnen ist, bewirkt Vermehrung der Arbeit. Als Beispiel führe ich an:

Pl. XXX, E. d. $^{22}/_{2}$. Dr. B. Erschrecken bei einem Schufs.

Der Chok war ziemlich bedeutend, da die V-P vorher gar keine Ahnung hatte, dafs mit ihr experimentiert werden sollte. Der Pfeil gibt den Augenblick an, da der Schufs fiel, und die Kurve zeigt, dafs nicht nur die einzelne, mit dem Reize gleichzeitige Muskelkontraktion hierdurch verstärkt wurde, sondern dafs auch in den beiden nächstfolgenden Partialarbeiten die Wirkung noch deutlich zu spüren war[1]. Besonders interessant ist dies, weil es zeigt, dafs das Lustgefühl und die Arbeitsvermehrung nicht untrennbar sind. Normal gehen sie allerdings zusammen, man kann aber auch bei Unlustgefühlen, nämlich beim Erschrecken, Arbeitsvermehrung haben. Hier findet offenbar ein tieferer Zusammenhang statt, denn, wie wir wissen, ist das Erschrecken auch die einzige Unlust, die eine Pulsverlängerung hervorruft, welche sonst die Lustgefühle charakterisiert (vgl. I. Teil. S. 73). Dieselbe Ursache, die in den motorischen Zentren eine Bahnung bewirkt, scheint also ebenfalls eine Erregung des Nervus vagus zu erzeugen, und diese Verbindung scheint konstant,

[1] Die Bahnung bewirkt also hier noch 4 Sek. nach dem Eintreffen des Reizes eine mefsbare Zunahme der Muskelarbeit. Wenn dies thatsächlich vorkommen kann, liegt wohl kaum etwas Unwahrscheinliches in der Annahme, dafs die Bahnung bis 6 Sek. lang die Verstärkung einer nachfolgenden Empfindung bewirken wird, selbst wenn der Reiz auch ein bedeutend schwächerer ist als der im besprochenen Versuche angewandte. Durch diese Annahme läfst sich die bei Schallempfindungen vorkommende Periodizität des Zeitfehlers erklären (vgl. S. 117).

Digitized by Google

von dem psychischen Zustand unabhängig zu sein, der von diesen Äufserungen begleitet wird. Für das Verständnis, welche Bedeutung die körperlichen Äufserungen psychischer Zustände für den Organismus als Totalität haben, wird dieser Zusammenhang offenbar ziemlich wesentlich sein; wenn wir in einem folgenden Teile zur Untersuchung dieser Verhältnisse gelangen, müssen wir diese eigentümliche Verbindung deshalb besonders berücksichtigen. Hier, wo wir nur mit den Bedingungen für das Entstehen gewisser psychischer Erscheinungen zu schaffen haben, können wir uns nicht näher darauf einlassen.

Betrachten wir jetzt die Unlustgefühle, so hinterlassen die Versuche uns keinen Zweifel, dafs die Unlust gewöhnlich an psychophysiologische Prozesse gebunden ist, welche einen bedeutenden Energieverbrauch erfordern. Indes ist ein grofser Energieverbrauch keine notwendige und genügende Bedingung für das Entstehen von Unlust. Denn einerseits wissen wir, dafs verschiedene psychische Thätigkeiten, wie das Denken, Auswendiglernen u. s. w., weit gröfseren Energieverbrauch erfordern können, ohne dafs der Zustand deshalb unlustbetont würde. Anderseits sahen wir, dafs wenigstens ein einzelnes Unlustgefühl, das Erschrecken, nur geringen Energieumsatz bewirkt. Es leuchtet daher ein, dafs ein gröfserer Energieverbrauch an und für sich nicht notwendigerweise unlustbetonte psychische Zustände erzeugt, und es entsteht nun die Frage, welche ferneren Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die Unlustbetonung eintrete. Die Beantwortung dieser Frage stellt sich fast von selbst ein, wenn wir die Verschiedenheit derjenigen psychischen Erscheinungen untersuchen, welche, wie die Erfahrung zeigt, bedeutenden Energieverbrauch beanspruchen. Bei der psychischen Arbeit operiert man stets mit einer gröfseren Anzahl von Vorstellungen; es entstehen zahlreiche Associationen, deren einige festgehalten, andere verdrängt werden, und das ganze Gewühl sich kreuzender Vorstellungen und Urteile durchzieht stets, wie der leitende Faden im Labyrinth, die Vorstellung von dem zu erreichenden Zweck. Ein solcher Reichtum an wechselnden psychischen Zuständen erfordert unzweifel-

Digitized by Google

haft die Arbeit einer sehr grofsen Anzahl von Neuronen, deren jedes für sich einen geringen Teil der umgesetzten Energie liefert. Ganz anders scheint sich die Sache dagegen zu stellen, wenn wir mit unlustbetonten Zuständen zu thun haben. Wir sahen, wie ein einzelner Sinnesreiz, die erhöhte Temperatur an einem stark begrenzten Teile der Oberfläche des Körpers, denselben Energieverbrauch bewirken kann wie eine ziemlich umfassende psychische Arbeit. Nur wird ein derartiger einfacher Sinnesreiz, der nur eine Empfindung von Hitze hervorruft, aller Wahrscheinlichkeit nach unmittelbar nur eine geringe Anzahl Neuronen in Thätigkeit setzen, und wenn nichtsdestoweniger ein ziemlich bedeutender Energieverbrauch stattfinden soll, mufs jedes einzelne Neuron daher einen sehr grofsen Teil dieser Energie liefern. Hier treffen wir folglich einen Unterschied an, der, wenn er auch rein quantitativ ist, für den Organismus als Totalität doch eine bedeutende Rolle spielen mufs. Soll ich eine Last von 50 Kilo heben, wird dies keine nachteiligen Folgen haben, wenn ich mit beiden Händen anpacken und alle Muskeln des Körpers anspannen kann; übt dasselbe Gewicht aber seine Wirkung auf einen einzelnen Finger, so wird dies wahrscheinlich eine Verstümmelung nach sich ziehen. Ebenso mit dem Gehirn. Wird ein Energieverbrauch über eine gröfsere Anzahl Neuronen verteilt, so ist dies eine Arbeit, die ohne Schwierigkeit geleistet werden kann und keine besonderen Folgen erhält; soll dieselbe Arbeit aber von einer stark begrenzten Anzahl Neuronen geleistet werden, so werden diese aufs äufserste angestrengt, und die psychische Folge wird Unlust.

Diese Auffassung der Sache scheint eine so exzeptionelle Erscheinung wie das Erschrecken leicht und natürlich erklären zu können. Da dieselbe durch einen plötzlichen, kurzen aber starken Sinnesreiz hervorgerufen wird, mufs dieser im Zentralorgan eine grofse Arbeitsleistung von einer begrenzten Anzahl Neuronen verlangen, die folglich stark angestrengt werden — somit ist die Unlust gegeben. Da der Reiz aber sofort wieder aufhört, wird der totale Energieverbrauch nur gering, es findet kein Energiezuflufs nach den arbeitenden Neuronen statt, die Bewegung breitet sich nur aus

und bewirkt eine Bahnung in anderen Zentren — somit ist die Vermehrung der Muskelarbeit gegeben. Für die Richtigkeit der Erklärung spricht sicherlich die bekannte Erfahrung, dafs man gewöhnlich nur über das Unerwartete erschrickt, schwerlich dagegen über etwas Erwartetes, auf das die Aufmerksamkeit schon vorher gelenkt war. Die Lenkung der Aufmerksamkeit auf einen erwarteten Reiz bedeutet nämlich, wie früher nachgewiesen, eine Bahnung der Bewegung in den empfangenden Neuronen. Ist die Bewegung aber im voraus angebahnt, so befindet sich mithin eine gröfsere Anzahl Neuronen in gleichartiger Erregung, und beim Eintreten des Reizes wird die hervorgerufene Bewegung sich sogleich über die gröfsere Gruppe von Neuronen ausbreiten können, so dafs jedes einzelne nicht so stark angestrengt wird. Hierdurch wird sowohl die Unlust als der vom Unerwarteten hervorgerufene Chok vermieden.

Das Resultat dieser Betrachtungen wird also, dafs es für die Gefühlsbetonung eines psychischen Zustands ohne Bedeutung ist, ob während des psychophysiologischen Prozesses eine gröfsere oder geringere Menge Hirnenergie umgesetzt wird. Das, worauf es ankommt, ist ausschliefslich, eine wie grofse Arbeit das einzelne Neuron leisten soll. Sogar ein sehr geringer Energieverbrauch kann eine Unlustbetonung bewirken, wenn die Arbeit von einer stark beschränkten Anzahl Neuronen geliefert werden soll (das Erschrecken), während sogar grofser Energieverbrauch Lustzustände zu erzeugen vermag, wenn nur der Verbrauch über eine hinlängliche Anzahl Neuronen verteilt ist. Die Frage ist nun, ob sich nicht eine etwas schärfere Grenze zwischen Lustzuständen und Unlustzuständen angeben läfst, denn Begriffe wie wenig und viel, klein und grofs sind doch gar zu relativ, um eigentlich etwas zu besagen. Wünschenswert wäre es natürlich, wenn die Grenze sich einfach durch die durchschnittliche Anzahl der während 1 Sek. pr. Neuron verbrauchten Grammkalorien angeben liefse, auf dergleichen absolute Bestimmungen müssen wir einstweilen aber wohl verzichten. Dagegen scheinen die Versuche zu zwei Bestimmungen zu führen, die, obschon nicht in Zahlen

Digitized by Google

ausgedrückt, dennoch auf ihre Art ebenso scharf sind.

Gehen wir erstens davon aus, dafs Lustgefühle stets von einer Bahnung, also u. a. von einer Vermehrung der gleichzeitigen Muskelarbeit, begleitet werden, so scheint das Maximum des Lustgefühls hierdurch bestimmt zu sein, denn die Bahnung andrer Prozesse von einem arbeitenden Zentrum aus ist, wie wir sahen, nur dann möglich, wenn keine Energieströmung nach dem Arbeitszentrum stattfindet. Wie gering der Energieverbrauch während eines Lustzustandes auch sein mag, so mufs doch immer etwas Energie verbraucht werden. Andauernder Verbrauch ohne Zufuhr ist aber unmöglich. Geht während eines Lustzustandes vom Arbeitszentrum daher fortwährend eine Bahnung aus, so ist dies nur denkbar, wenn der Energieverbrauch auf anderem Wege gedeckt wird. Es mufs dann der Stoffwechsel sein, der unablässig die verbrauchte Energie ersetzt; wir kennen wohl keine andere Thätigkeit, die im stande wäre, dies zu thun. Wir kommen also zu dem Ergebnisse, dafs ein psychophysiologischer Prozefs einen lustbetonten psychischen Zustand herbeiführen wird, solange die im Prozesse umgesetzte Energie durch den Stoffwechsel ersetzt werden kann. Nun wissen wir aber, dafs das Lustgefühl bis zu einem gewissen Punkte mit dem Reize anwächst. Sehr schwache Reize ererzeugen gewöhnlich nur geringe Lust; wächst die Stärke des Reizes, mithin der Umsatz im Zentralorgane, so wächst auch das Gefühl bis zu einem Maximum, worauf es abzunehmen beginnt. Es wird daher eine höchst natürliche Annahme, dafs der psychische Kulminationspunkt gerade mit dem Wendepunkte des physiologischen Prozesses zusammentrifft, an welchem der Stoffwechsel nicht mehr im stande ist, den Verbrauch zu ersetzen. Wird diese Grenze nämlich überschritten, so mufs die Bahnung schnell abnehmen, weil das Arbeitszentrum jetzt Energiezufuhr aus den Umgebungen verlangt. An dieser Verminderung der Bahnung haben wir daher das physiologische Anzeichen, dafs das Lustgefühl abnimmt. Wie man sieht, gibt es also vollständigen Parallelismus der beiden Reihen, der psychischen und der physiologischen.

Digitized by Google

Wir suchen nun ferner das Verhältnis zwischen dem psychischen Zustand und dem zentralen Energieumsatze zu bestimmen, wenn letzterer fortwährend zunimmt. Was die psychische Reihe betrifft, so macht die Selbstbeobachtung uns die Sache völlig klar. Nach Überschreitung des Maximums des Lustgefühls nimmt das Gefühl schnell ab, und es tritt ein zwischen Lust und Unlust schwankender Zustand ein, der oft neutral sein wird. Ist die Ursache des Gefühls ein Sinnesreiz, so wird es meistens zwar nicht möglich sein, den neutralen Übergangspunkt nachzuweisen, dies rührt bekanntlich aber aus anderen Ursachen her[1]. Dagegen ist ganz gewifs der gröfste Teil dessen, was man im täglichen Leben »Arbeit« nennt, die angewohnte routinemäfsige Arbeit, ziemlich neutral. Dieselbe ist zu anstrengend, um ein Genufs zu sein, wenn aber keine besonderen Umstände hinzutreten, ist sie zu gut eingeübt, um geradezu unangenehm zu werden. Ein derartiger Zustand ist schwankend; kleine Zufälligkeiten können im einen Augenblick eine schwache Lust hervorrufen, im nächsten eine mehr oder weniger deutliche Unlust, gerade durch diese Schwankungen verrät sich aber der durchweg neutrale Charakter des Zustands. Bei stärkerer Reizung, gröfserer Anstrengung geht der Zustand schliefslich in entschiedene Unlust über[2].

---

[1] Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. S. 177 u. f.

[2] Diese Thatsache wird nicht im geringsten durch die ebenso unbestreitbare Thatsache umgestofsen, dafs eine unvorhergesehene Schwierigkeit, die während der routinemäfsigen, langweiligen Arbeit eintritt, mitunter fast als Annehmlichkeit gefühlt werden kann. Für energische Naturen, welche die aus der Überwindung von Schwierigkeiten resultierende Befriedigung kennen, wird eine solche Unterbrechung der einförmigen Arbeit oft Anziehung enthalten. Darum ist die Schwierigkeit der Arbeit, solange dieselbe nicht überwunden ist, aber dennoch unlustbetont; lockend ist nur die künftige Befriedigung durch Überwindung der Schwierigkeit. Bekanntlich ist jedermann sogar mit Freuden willig, sich einer schwierigen und unangenehmen Arbeit zu unterziehen, wenn nur die Belohnung hierfür hinlänglich grofs zu sein scheint. Welche Belohnung aber als für ein gewisses Quantum Ungemach hinlänglich betrachtet wird, das ist in höchstem Grade individuell verschieden. Die weitere Entwickelung dieses Problems ist in der Theorie der Nationalökonomie vom Grenznutzen gegeben.

Digitized by Google

Die physiologischen Prozesse, an welche die erwähnten psychischen Erscheinungen gebunden sind, haben wir zum Teil bereits erörtert. Wenn der Stoffwechsel allein die Arbeit nicht zu unterhalten vermag, hört die Bahnung auf, indem der intercelluläre Energiestrom eintritt. Hiermit ist doch keineswegs Unlust gegeben, denn die Versuche zeigten, dafs sehr bedeutender Energieverbrauch stattfinden kann, ohne dafs die Arbeit deshalb unlustbetont wird. Ebensowenig tritt bei einer bestimmten Gröfse des Energieverbrauches Unlust ein, denn ein kleiner Energieverbrauch kann lebhafte Unlust erzeugen, wenn die Arbeit von einer beschränkten Anzahl Neuronen geliefert werden soll. Dies deutet offenbar darauf hin, dafs die Unlust erst beginnt, wenn eine Gruppe von Neuronen nicht mehr im stande ist, die von ihr verlangte Arbeit zu leisten. Können der Stoffwechsel und die intercelluläre Energieströmung im Verein dem Arbeitszentrum keine so grofse Energiemenge zuführen, wie in jedem Augenblick wegen der eintreffenden Reize verlangt wird, so ermüden die Neuronen, und hiermit scheint die Unlust gegeben zu sein. Ob der Energieverbrauch, absolut genommen, dann grofs oder klein ist, wird ganz davon abhängen, über einen wie grofsen Umfang die Bewegung sich ausbreitet, oder mit anderen Worten, wie viele Neuronen an der Arbeit direkt beteiligt sind.

Wir können diese Betrachtungen nun in folgenden Satz zusammenfassen:

- Wenn ein psychophysiologischer Prozefs keinen gröfseren Verbrauch der Energie jedes einzelnen arbeitenden Neurons erfordert, als dafs der Stoffwechsel fortwährend den Verbrauch zu ersetzen vermag, so wird die psychische Wirkung hiervon ein Lustgefühl sein, während die physiologische Wirkung die Bahnung von Bewegungen in anderen Zentren wird. Das Maximum des Lustgefühls wird erreicht, wenn der Stoffwechsel den stattfindenden Verbrauch gerade zu decken vermag. Bei Überschreitung dieser Grenze nimmt sowohl das Lustgefühl als die Bahnung schnell ab, indem der Verbrauch im Arbeits-

zentrum nun einen Energiestrom aus den Umgebungen bewirkt, wodurch gleichzeitige Prozesse in letzteren gehemmt werden. Der psychische Zustand ist unter diesen Verhältnissen zunächst neutral, je nach den Umständen bald zur Lust, bald zur Unlust tendierend. Wird endlich der Verbrauch in den arbeitenden Neuronen so grofs, dafs er nicht durch den Stoffwechsel im Verein mit dem intercellulären Energiestrom gedeckt werden kann, so wird die psychische Wirkung ein Unlustgefühl werden. Eine Hemmung anderer, gleichzeitiger Prozesse wird deshalb stets das Unlustgefühl begleiten, ausgenommen, wenn dieses nur von rein instantaner Dauer ist, so dafs kein Energiestrom zu stande kommt; alsdann wirkt die Bewegung im Arbeitszentrum bahnend (das Erschrecken).

Diese Theorie ist, wie leicht zu ersehen, ihren Grundzügen nach keine neue; sie ist nur eine weitere Entwickelung und Präzisierung der von Grant Allan aufgestellten dynamischen Gefühlstheorie. Zu dieser wurde ich seiner Zeit durch eine Reihe kritischer Betrachtungen über verwandte Theorien bewogen, die von anderen Forschern aufgestellt waren[1]; es ist deshalb nicht ganz ohne Bedeutung, dafs wir nun von neuen Thatsachen aus zu demselben Resultat gelangen. Zwischen der neuen und der älteren Formulierung besteht indes ein nicht ganz unwesentlicher Unterschied. Nach Grant Allans Darstellung ist es nämlich der Energieverbrauch im Sinnesorgane, der entscheidet, ob ein Lust- oder ein Unlustgefühl entstehen soll; wie die Theorie aber hier formuliert ist, wird der Energieverbrauch im Zentralorgane, namentlich in den arbeitenden Neuronen, entscheidend. In der Realität ist dies natürlich ganz dasselbe, denn nur, insofern der Energieverbrauch des Sinnesorganes einen korrespondierenden Verbrauch im Zentralorgan bewirkt, können aus diesem Verhalten die psychischen Wirkungen: Lust und Unlust

[1] Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. S. 153 u. f.

hervorgehen. Die nähere Präzisierung dieser Sache ist dennoch nicht ohne Bedeutung, da die Theorie erst hierdurch praktische Wichtigkeit erhält, Erscheinungen zu erklären vermag, die sonst ganz rätselhaft dastünden. Jedenfalls kann die Theorie in ihrer ursprünglichen Form nicht auf diejenigen Gefühlszustände zur Anwendung kommen, welche nur in geringem Grade oder auch gar nicht von äufseren Reizen abhängig sind.

Besonderes Interesse erhält die Gefühlstheorie auch dadurch, dafs sie die Beantwortung der von G. E. Müller aufgeworfenen Frage gibt: »was das psychische Korrelat der Ausbreitung der psychophysischen Thätigkeit sei«[1]. Müller weist nach, dafs es hier verschiedene Möglichkeiten gibt, dafs wir aber auf dem jetzigen Standpunkte unseres Wissens nicht im stande sind, einer einzelnen derselben den Vorzug zu geben. Er läfst die Frage deshalb zunächst dahingestellt bleiben, indem er Fechners Auffassung beitritt, »nach welcher die Ausbreitung des psychophysischen Prozesses ihr psychisches Korrelat nicht an einer von der Empfindungsintensität verschiedenen Dimension der Empfindung besitzt, sondern eine Vergröfserung oder Verminderung jener Ausbreitung psychophysisch völlig äquivalent ist einer ohne Veränderung der Ausbreitung des psychophysischen Prozesses stattfindenden, bestimmten Erhöhung, bez. Verringerung der Stärke desselben«. Es ist leicht zu ersehen, dafs die dynamische Gefühlstheorie hier eine andere Beantwortung geben mufs, indem sie der räumlichen Ausbreitung eines Prozesses ganz andere Bedeutung beilegt. Die Stärke der Empfindung ist, wie wir wissen, proportional der Gröfse des zentralen Energieumsatzes. Der Theorie zufolge ist die Gefühlsbetonung der Empfindung dadurch bestimmt, wieviel Arbeit von den arbeitenden Neuronen verlangt wird. Ist also ein Energieumsatz bestimmter Gröfse in verschiedenen Fällen über eine bald gröfsere, bald kleinere Anzahl Neuronen verteilt, so erhalten wir in allen Fällen eine Empfindung bestimmter Stärke; nur der Gefühlston verändert sich nach der Anzahl der am

[1] Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschr. f. Psych. Bd. X. S. 8.

Prozesse beteiligten Neuronen. Diese Konsequenz der Theorie scheint übrigens zu zeigen, dafs die ganze Frage nur geringe Bedeutung besitzt. Denn da die Gefühlsbetonung gewöhnlich der Empfindung, mithin der Gröfse des zentralen Energieumsatzes, ziemlich proportional anwächst, deutet dies darauf hin, dafs ein Prozefs bestimmter Art annähernd konstante räumliche Ausbreitung hat, so dafs den arbeitenden Neuronen stets ein konstanter Bruchteil des gesamten Energieumsatzes zufällt.

Wir können uns hier nicht wohl darauf einlassen. die Bedeutung und Tragweite der dynamischen Gefühlstheorie zu untersuchen; dies würde mit einer vollständigen Durcharbeitung der ganzen Lehre vom Gefühle gleichbedeutend sein. Ein paar einfache, unter den elementarsten Erscheinungen gewählte Beispiele werden genügen, um zu zeigen, wie die Theorie in der hier dargestellten Form eine leichte und ungezwungene Erklärung verschiedener Thatsachen gibt, die man früher wohl kaum zu erklären versucht hat. So hat Weber bekanntlich folgendes Gesetz für Temperaturreize nachgewiesen: »Der Schmerz entsteht um so leichter, je gröfser die dem Reize ausgesetzte Hautoberfläche ist[1].« Näher bestimmt heifst das: damit ein Wärmereiz ebenmerklichen Schmerz hervorrufen kann. mufs die Temperatur um so niedriger sein, je gröfser die angegriffene Stelle der Hautoberfläche ist. Dies ist nun gewifs leicht zu verstehen. Schmerz entsteht. wenn der Energieverbrauch der arbeitenden Neuronen durch die Zufuhr nicht gedeckt werden kann. Der zentrale Energieumsatz wird aber durch die Energie des Reizes bestimmt. Es kommt also nur darauf an. dafs diese eine bestimmte Gröfse hat. Folglich wird jede Arealeinheit der Hautoberfläche um so geringerer Wärmezufuhr benötigt sein. je gröfser das gereizte Areal ist, oder mit anderen Worten: das Produkt des Areals und der Temperaturerhöhung mufs konstant sein. Genaue Gültigkeit wird dieser Satz jedoch wohl kaum haben, denn

[1] Tastsinn und Gemeingefühl, in Wagners Handwörterbuch der Physiologie. Bd. III, Abt. 2. S. 572—573. Vgl. Die Hauptgesetze. S. 36 u. f.

mit der Gröfse des Areals nimmt wahrscheinlich auch die Anzahl der arbeitenden Neuronen zu, und wenn eine gröfsere Anzahl Neuronen in Thätigkeit gesetzt wird, mufs auch die Energie des Reizes anwachsen, damit Schmerz entstehe. Man findet deswegen auch, dafs das Produkt des Hautareals und der Temperaturerhöhung nicht ganz konstant ist, sondern mit dem Areale zunimmt, freilich viel langsamer als dieses. Die nähere Untersuchung dieses Verhältnisses würde bedeutendes Interesse darbieten.

Bekanntlich spielt die Gefühlsbetonung bei den niederen Sinnen eine weit mehr hervortretende Rolle als bei den höheren. Besonders erweist dies sich dadurch, dafs nur die allerstärksten Gesichts- und Gehörsreize im stande sind, unlustbetonte Empfindungen hervorzurufen, während wir auf dem Gebiete der niederen Sinne oft schon bei verhältnismäfsig schwachen Reizen Unlust fühlen. Auch dies ist durch die gegebene Theorie leicht zu erklären, da die Entstehung der Unlust wesentlich durch die Energie des Reizes bestimmt wird, und in dieser Beziehung besteht ein bedeutender Unterschied zwischen den Reizungen der niederen und den adäquaten Reizungen der höheren Sinne. Fällt ein kleiner Tropfen (0,05 gr) siedenden Wassers auf die Haut, und nehmen wir an, dafs nur die Hälfte des Wärmeüberschusses an den Organismus abgegeben wird, während die andere Hälfte verloren geht, so hat die Energie des Reizes etwa 2 gr cal. betragen. Diese Energiemenge ist im Vergleich mit der Energie unserer gewöhnlichen Schall- und Lichtreize aber ungeheuer grofs. Fällt eine 10 gr wiegende metallene Kugel aus der Höhe von 1 m auf eine harte Unterlage, und wird der erzeugte Schall in der Entfernung von 10 cm von der Anschlagsstelle durch das Ohr aufgefafst, so wird die Gröfse der als Schallwellen in das Ohr eindringenden Energiemenge schwerlich 0,0001 gr cal. erreichen; diese Schallstärke entspricht ungefähr der einer kräftigen Redestimme. Noch weit geringer ist die Energie des Lichtes. Eine Normal-Spermazetkerze entsendet in der Form von Lichtstrahlen etwa 4 gr cal. pr. Min. Ein Auge, das die Flamme in der Entfernung von 1 m betrachtet, wird pr. Sek. nur eine Energiemenge von

Digitized by Google

0,0000002 gr cal. erhalten, und dies ist obendrein als ein recht kräftiger Lichtreiz anzusehen. Ein Stückchen weifsen Papiers, das von demselben Lichte in einer Entfernung von 1 m beleuchtet wird, sendet nur ein Tausendstel der angegebenen Lichtmenge zum Auge. Nun besteht allerdings kein so grofses Mifsverhältnis zwischen den zentralen Energieumsätzen, die durch die drei genannten Reize hervorgerufen werden, denn die Terminalorgane der Temperaturnerven sind durch die Oberhaut, die ein schlechter Wärmeleiter ist, vor den starken Reizen beschützt, wogegen das Ohr und das Auge Ansammlungsapparate sind, welche die schwachen Reize konzentrieren. Deshalb wird es möglich, dafs so minimale Energiemengen, wie unsere gewöhnlichen Gesichtsreize, überhaupt zentrale Prozesse hervorzurufen vermögen; durch die Haut hindurch würde die gleiche Energiemenge durchaus keine Empfindung auslösen. Obgleich unsere Sinnesapparate also zum Teil der Gröfse der Energie der Reize angepafst sind, ist es doch verständlich, dafs nur maximale Gesichtsreize die empfangenden Neuronen in so starke Aktivität setzen werden, dafs Unlust damit verbunden ist. Eine derartige Thätigkeit wird aber schon durch relativ schwache Temperaturreize hervorgerufen werden, weil diese eine weit gröfsere Energiemenge repräsentieren.

Es mag noch ein einzelnes Verhältnis in Kürze hier berührt werden. Wie wir wissen, ist Rot unter allen Farben diejenige, die am leichtesten zu kräftig wirkt; in der Ornamentik ist Rot deshalb immer mit gewisser Mäfsigung zu gebrauchen. Dies stimmt damit überein, dafs Rot gerade diejenige Farbe ist, die, bei gegebener Intensität der Lichtstrahlen, den gröfsten zentralen Energieumsatz hervorruft. Auch der Gegensatz zwischen der anregenden Wirkung der warmen und der dämpfenden Wirkung der kalten Farben scheint auf der relativen Gröfse der zentralen Energieumsätze zu beruhen. Diese ist nämlich, bei gegebener Intensität der Strahlen, am bedeutendsten hinsichtlich der weniger brechbaren Strahlen. Weiter können wir uns auf diese Verhältnisse hier jedoch nicht einlassen, da die erforderliche empirische Grundlage bis jetzt nicht vorliegt.

Die Tragweite der dynamischen Gefühlstheorie näher

zu entwickeln, würde, wie gesagt, gar zu weit führen, und die Frage hat gar zu grofse Bedeutung, als dafs wir uns auf eine ganz oberflächliche Behandlung beschränken könnten. Soweit ich zu ersehen vermag, wird die Theorie in der hier gegebenen Form aber wirklich im stande sein, die wesentlichsten der auf dem Gebiete des Gefühlslebens bekannten Gesetzmäfsigkeiten natürlich und zwanglos zu erklären. Freilich können wir nicht erwarten, für alle speziellen Gefühlsgesetze eine Erklärung durch die Theorie zu finden, denn diese gibt nur die Bedingungen für die Entstehung und die Variationen der Gefühlstöne an, sagt aber nichts darüber, wann das Eintreten dieser Bedingungen zu erwarten ist. Erscheinungen wie der Kontrast und die Expansion des Gefühls lassen sich deshalb nicht unmittelbar durch die Theorie erklären, die vollkommen richtig sein kann, selbst wenn man daraus nicht zu schliefsen vermag, dafs ein Gefühl mit Notwendigkeit auf ein nachfolgendes influieren müsse. Es sind hier also verschiedene Rücksichten zu nehmen, wenn man die Tragweite der Theorie prüfen will, dies würde uns aber von unserer eigentlichen Aufgabe zu weit abbringen.

Auch auf Wundts Auffassung der Gefühle als eines tridimensionalen Systems[1] wage ich nicht, mich hier einzulassen. Die dargestellte theoretische Auffassung der Ursachen der Lust und Unlust ist offenbar ganz davon unabhängig, ob es aufser dem Gegensatze der Lust und der Unlust noch andere, ebenso primitive und irreduktible Gefühlsarten gibt. Einstweilen mufs ich gestehen, dafs die Notwendigkeit einer solchen Annahme mir nicht ganz einleuchtend ist. Die beiden anderen Dimensionen, deren Aufstellung Wundt für notwendig erachtet hat, nämlich die Exaltation-Depression und die Spannung-Lösung, scheinen mir keineswegs so unzusammengesetzte Erscheinungen zu sein. Zustände der Exaltation und der Depression lösen sich mir in eine primäre Lust oder Unlust und verschiedene ebenfalls betonte Organempfindungen auf. Die Bedeutung der Organempfindungen für Affekte und Stimmungen bestreiten zu wollen, scheint mir sehr bedenklich;

---

[1] Bemerkungen zur Theorie der Gefühle. Phil. Stud. Bd. XV.

das hieſse wohl ungefähr, das Fundament der Psychologie selbst: die Selbstbeobachtung erschüttern wollen. Wenn ich mich »erhoben, leicht« oder »niedergedrückt, beschwert« fühle, so sind diese aus dem täglichen Leben wohlbekannten Ausdrücke durchaus keine Bilder, sondern Bezeichnungen für sehr deutliche Empfindungen; man hat wirklich gleichsam das Gefühl, daſs eine Bürde auf einem lastet u. s. w. Bestreitet man, daſs dergleichen Zustände Empfindungen von Veränderungen im Organismus sind, so begeht man, meines Ermessens, einen ebenso groſsen Fehler, als wenn man zur entgegengesetzten Äuſserlichkeit geht und glaubt, man könne aus der Art der Empfindungen schlieſsen, welche physiologischen Veränderungen stattgefunden hätten. Letzteres ist somnambulistisch-spiritistischer Aberglaube, der ohne Zweifel verwerflich ist; man sollte aber doch das Kind nicht mit dem Bade ausschütten. Weil man aus den Empfindungen keine Schlüsse über die speziellen physiologischen Ursachen zu ziehen vermag, braucht man darum doch nicht zu bezweifeln, daſs sie aus physiologischen Ursachen entstehen. Da nun die psychologische Analyse, soweit ich zu erblicken vermag, die Exaltation und die Depression in verschiedene primitive Erscheinungen auflösen muſs, so liegt kein Grund vor, diese Zustände als besondere Gefühlsarten zu bezeichnen.

Was ferner die Spannung betrifft, so läſst es sich gewiſs nicht bestreiten, daſs dieselbe in ihren entschiedenen Formen als Affekt auftritt; die Teilnehmer an einer schwierigen Bergbesteigung, die Zuschauer bei einem Stierkampf, die Leser eines »spannenden« Romans werden mir unbedingt recht geben. Jedoch kommt der Affekt, ebenso wie alle anderen Affekte, nur in einzelnen Situationen und während einzelner Augenblicke zum Ausdruck; sonst besteht der Zustand nur als eine Stimmung, als eine gewisse unbestimmte Erwartung, daſs wieder etwas eintreffen wird. Diese Stimmung kann mit sehr verschiedener Stärke auftreten, und in ihren schwächsten Formen ist das Individuum sich derselben wohl kaum bewuſst, während sie sich dennoch durch eine gewisse gespannte Aufmerksamkeit äuſsert. Mit letzterem Zustande haben wir gewöhnlich im Labora-

torium zu thun gehabt; die V-P erwartet, es müsse etwas geschehen, dieses Etwas ist an und für sich aber so bedeutungslos und die Spannung mithin so gering, dafs nur die Plethysmogramme das Vorhandensein des Zustands verraten, während die V-P selbst es gar nicht gewahrt, dafs ihr Zustand kein völlig normaler ist. Der Dr. Liebmann (P. L.), einer meiner gewöhnlichen Mitarbeiter, erhob gelegentlich einen Protest dagegen, dafs ich diesen Zustand als weniger normal bezeichnete. Er meinte nämlich, was wir Spannung zu nennen pflegten, sei eigentlich der völlig wache Normalzustand, wogegen unser sogenannter Normalzustand ein Dusel, ein Schritt auf dem Wege zum Halbschlummer hinab sei. Gegen diese Art und Weise, die Sache zu betrachten, läfst sich eigentlich weder in psychologischer noch in physiologischer Beziehung ein Einwurf erheben. In psychischer Beziehung ist die Spannung (in den hier besprochenen schwächeren Formen) nur die Kulmination des wachen Zustandes; das Individuum sitzt in gespannter Aufmerksamkeit, bereit, zu empfangen, was geschehen wird. Von hier an findet man darauf einen ganz sanften Übergang durch den ruhigeren, weniger gespannten Normalzustand hindurch bis zur völligen Erschlaffung der Aufmerksamkeit im Schlafe. Den physiologischen Ausdruck für diese ganze Stufenreihe von Zuständen haben wir an den Plethysmogrammen. Während der Spannung erblicken wir ein kleines Volumen mit geringer Pulshöhe, und von hier an geschieht der Übergang allmählich durch fortwährende Zunahme des Volumens und der Pulshöhe hindurch erst bis zum Normalzustande und schliefslich zum Schlafe mit dessen enormem Volumen und grofsem schlaffem Puls.

Die Darstellung, die ich im 1. Teile dieses Werkes von der Spannung gegeben habe, ist von einem geehrten Kritiker[1] als sich selbst widersprechend und unklar bezeichnet worden. Sich selbst widersprechend sei sie, weil ich die Spannung bald einen Affekt, bald eine Stimmung und bald wieder »einen durchaus unbetonten Zustand der Aufmerksamkeit« nenne. Dem Obigen zu-

---

[1] Dr. M. Brahn in der Zeitschrift für Psych. u. Phys. Bd. 25, S. 219 u. f.

Digitized by Google

folge kann ich nicht zugeben, dafs hier ein Widerspruch stattfinden sollte; thatsächlich ist die Spannung, je nach ihren verschiedenen Stärkegraden, bald das eine, bald das andere. Will man die Spannung selbst in solchen Zuständen, wo das Individuum sich derselben nicht bewufst ist, ein Gefühl nennen, so mufs auch der Normalzustand als eine besondere Gefühlsart betrachtet werden. Ein Selbstwiderspruch findet sich hier also nicht; es handelt sich nur um verschiedene Intensitätsstufen desselben Zustandes, und dafs es berechtigt ist, diesen Zustand Spannung zu nennen, dafür habe ich den experimentellen Beweis beigebracht (1. Teil. S. 83—84). Dafs meine Selbstwidersprüche darauf Unklarheit verursachen sollten, indem ich ganz verschiedene Zustände unter der gemeinschaftlichen Benennung der Spannung miteinander vermengt hätte, kann ich meinem Kritiker noch weniger zugeben. Denn da die Spannung sich, psychisch betrachtet, nicht präzisieren läfst, definierte ich sie sehr eingehend und genau mittels ihrer plethysmographischen Wirkungen (S. 89), und wo ich mich nicht auf unzweifelhafte plethysmographische Merkmale stützen konnte, habe ich nirgends das Vorhandensein einer Spannung vorausgesetzt. Eine solche Definition dürfte wohl bedeutend klarer und schärfer sein als eine Abgrenzung der verschiedenen psychischen Zustände der Spannung, der Erwartung, der Aufmerksamkeit u. s. w. Dagegen gebe ich mit Freuden Herrn Brahn recht, wenn er meint, die psychologische Erklärung der Verminderung der Spannung durch äufseren Reiz, die ich gegeben habe, sei ziemlich unverständlich; nur rührt dies nicht von einer Unklarheit meiner Auffassung der Sache her, sondern hat ausschliefslich seinen Grund in der Unmöglichkeit, befriedigende psychologische Erklärungen psychophysiologischer Thatsachen zu geben. Jede derartige Erklärung mufs nämlich stets der Natur der Sache zufolge die eine, sehr wichtige Seite — die physiologische — überschlagen. Faktisch liegt folgendes vor. Das Individuum befindet sich in Spannung, die sich meines Erachtens am besten psychologisch als ein Zustand der Aufmerksamkeit charakterisieren läfst, der physiologisch durch bestimmte körperliche Reaktionen gekennzeichnet wird. Ein äufserer Reiz ruft

Digitized by Google

nun eine Änderung dieses psychophysiologischen Zustands hervor; der Grad der Aufmerksamkeit wird ein andrer, und somit treten auch andre Reaktionen auf. Es zeigt sich indes empirisch, dafs der neue organische Zustand sich so auffassen läfst, als wäre er hervorgebracht durch Interferenz der Veränderungen, welche eine Verminderung oder Aufhebung der Spannung erzeugen würde, und der Reaktion, welche der Reiz an sich bewirken würde, wenn anfänglich keine Spannung stattgefunden hätte. Je gemäfs der Stärke des Reizes und der Stärke der ursprünglich bestehenden Spannung erhalten wir in den verschiedenen Fällen deswegen ganz verschiedene Reaktionen. Von dieser psychophysiologischen Thatsache habe ich eine Art Erklärung zu geben gesucht, indem ich dieselbe psychologisch umschrieb und von einer Teilung der Aufmerksamkeit redete, so dafs die Spannung bis zu einem gewissen Grade bestehen bliebe, während die Aufmerksamkeit übrigens auf den Reiz gelenkt würde. Ich gestehe, dafs hierin nicht viel Sinn ist. Zu meiner Entschuldigung kann ich nur sagen, dafs das meiste von dem, was für psychologische Wissenschaft ausgegeben wird, gerade aus dergleichen Umschreibungen besteht, mittels deren man vage psychologisch-systematische Bestimmungen gibt statt die verlaufenden psychophysiologischen Prozesse auseinanderzusetzen. Ich gebe meinem geehrten Kritiker das Versprechen, dafs ich mich künftig befleifsen werde, von derartiger Wissenschaftlichkeit Abstand zu nehmen.

Um mich kurz zu fassen: Ich halte auch ferner die Spannung in ihren mehr alltäglichen Formen, unter denen das Individuum sich selten derselben bewufst ist, nur für einen potenzierten wachen Zustand, der sich psychisch am besten durch die gesteigerte Aufmerksamkeit charakterisieren läfst. Will man diesen Zustand ein Gefühl nennen, so ist auch der wache Zustand selbst als ein geringerer Stärkegrad dieses Gefühls aufzufassen. Dies wird aber doch gewifs ein gar zu gekünstelter Sprachgebrauch. Ich fühle mich deshalb bis jetzt noch nicht überzeugt, dafs durch die Lehre von den drei Dimensionen des Gefühls Wesentliches zu erreichen sei, sollte ich aber zu besserer Erkenntnis ge-

langen, so werde ich kein Hehl daraus machen. Ich habe kein philosophisches System, das ich um jeden Preis — den Thatsachen gemäfs oder zuwider — zu verteidigen hätte.

SCHLUSS.

Das wesentlichste Resultat aller im Vorhergehenden angestellten Untersuchungen wird wohl dieses: die Intensität der Bewufstseinserscheinungen wird bestimmt durch die Gröfse desjenigen Energieumsatzes im Zentralorgan, an welchen die einzelne Bewufstseinserscheinung gebunden ist. Wir fanden nämlich erstens, dafs die Unterscheidungsgesetze sich auf den beiden wesentlichsten Sinnesgebieten aus bekannten physischen und physiologischen Gesetzen herleiten lassen, unter der Voraussetzung, dafs die Stärke der Empfindung dem zentralen Energieumsatze proportional ist. Ferner sahen wir, dafs derjenige Bruchteil der freien Energie des Gehirns, welcher während einer gegebenen psychischen Arbeit umgesetzt wird, um so gröfser ist, je gröfser die psychische Arbeit wird, und dafs letztere sich überhaupt nur dann verrichten läfst, wenn die Gröfse des Energieumsatzes ein gewisses, von der Gröfse der Arbeit abhängiges Minimum übersteigt. Es scheint also keinem Zweifel unterliegen zu können, dafs die psychischen Erscheinungen quantitativ durch die Gröfse des zentralen Energieumsatzes bestimmt sind. Ist es aber gegeben, dafs jede psychische Erscheinung einen gewissen Energieverbrauch erfordert, so läfst die Konsequenz sich schwerlich vermeiden, dafs der psychische Zustand auch in qualitativer Beziehung durch die nähere Beschaffenheit des physiologischen Prozesses (Lokalisation, Schwingungsverhältnisse u. s. w.) bestimmt ist. Die Bewufstseinserscheinungen scheinen mithin völlig von den zentralen physiologischen Prozessen abhängig zu sein.

Dies widerspricht nun, scheinbar wenigstens, dem ebenso wohlbegründeten Resultate, zu dem wir im ersten Teile dieses Werkes gelangten, nämlich: ein

äufserer Reiz mufs bis zum Bewufstsein durchdringen, um organische Reaktionen verursachen zu können (1. Teil, S. 158). Hiernach könnte es so aussehen, als wäre der zentrale physiologische Prozefs allein nicht im stande, die Reaktionen auszulösen, und dafs organische Reaktion erst hervorgerufen würde, wenn das Bewufstseinsphänomen als neues Element hinzukäme. So ist die Sache ausgelegt worden, und gegen diese Auffassung ist von physiologischer Seite ein mehr energischer als eigentlich wohlbegründeter Protest erhoben worden[1]. Eben die Auslegung, gegen die protestiert wird, ist jedoch ganz unberechtigt; wenigstens habe ich niemals angedeutet, dafs die Bewufstseinserscheinung ein von dem zentralen Prozefs unabhängiges Moment sein sollte. Es ist eine rein empirische Thatsache, dafs ein Reiz bis zum Bewufstsein durchdringen mufs, um in normalen Menschen organische Reaktionen auszulösen, und in diesem Satze liegt durchaus keine theoretische Auffassung der Sache versteckt. Meine plethysmographischen Versuche gaben keinen Aufschlufs über die zentralen physiologischen Prozesse, sie konnten nur feststellen: 1) bestimmten, durch Selbstbeobachtung konstatierten Bewufstseinszuständen entsprechen stets bestimmte organische Reaktionen, und 2) wenn ein bestimmter äufserer Reiz im Individuum keinen bestimmten Bewufstseinszustand erzeugt, so unterbleiben auch die organischen Reaktionen. Diese empirischen Daten fafste ich in dem angeführten Satze zusammen, dafs der Reiz bis zum Bewufstsein durchdringen mufs, um organische Reaktionen auszulösen, und derselbe involviert mithin durchaus keine metaphysische Theorie. Im Gegenteil, jede andere Formulierung würde notwendigerweise erheischen, dafs man eine bestimmte theoretische Auffassung unterschöbe. Hierzu fand ich mich in der früheren, rein empirischen Untersuchung nicht veranlafst. Da wir jetzt aber darüber ins reine gekommen sind, wie die Bewufstseinserscheinungen durchweg durch die zentralen Energieumsätze bestimmt werden, möchte es begründet sein,

[1] C. Lange in der »Hospitalstidende«. Köbenhavn. 1899. S. 907 u. f.

Digitized by Google

die Frage aufzustellen: wie läſst es sich erklären, daſs die Entstehung eines psychischen Zustandes die notwendige Bedingung ist, damit organische Reaktionen ausgelöst werden?

Besondere Schwierigkeit kann diese Frage uns offenbar nicht verursachen. Denn da die psychischen Erscheinungen aufs engste an zentrale Energieumsätze gebunden sind, so beweist die Notwendigkeit des psychischen Zustands für die Entstehung der Reaktion nur, daſs die organischen Reaktionen keine Rückenmarkreflexe sind, sondern allein aus höheren Zentren ausgelöst werden. Ruft ein Reiz daher keinen bestimmten psychischen Zustand hervor, so liegt auch nichts Sonderbares darin, daſs er keine organische Reaktion erzeugt. Das Ausbleiben des psychischen Zustands sowohl als das der physischen Veränderungen beweist, daſs der Reiz nicht im stande war, den erforderlichen zentralen Energieumsatz zu bewirken. Oder, um es möglichst scharf zu präzisieren: die Entstehung des psychischen Zustands ist keine Bedingung für das Zustandekommen der organischen Reaktionen, sie ist nur das Anzeichen, daſs ein bestimmter zentraler Prozeſs vorgeht. Anderseits sind die organischen Reaktionen auch nur Äuſserungen des zentralen Prozesses, und folglich ist nichts Sonderbares darin enthalten, daſs der Bewuſstseinszustand und die körperlichen Veränderungen einander begleiten müssen. Unterbleibt das eine, so muſs auch das andere unterbleiben, da alle beide nur verschiedene Äuſserungen desselben zentralen Prozesses sind.

Eine andre Frage ist es, warum ein gegebener Reiz nicht immer einen bestimmten zentralen Prozeſs hervorruft. Hierauf läſst sich ganz im allgemeinen natürlich keine Antwort geben; es kommt hier auf die vorliegenden Umstände an. Unter den Ursachen, die zum Gegenstand experimenteller Untersuchung gemacht werden können, behandelten wir im 1. Teil die Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen gegebenen Bewuſstseinsinhalt, die Hypnose und die Narkose. Am leichtesten verständlich ist die Sache im erstgenannten Falle. Wir sahen nämlich ja, daſs jede psychische Arbeit, die gröſseren Energieverbrauch erfordert, hierdurch auch

andere gleichzeitige zentrale Prozesse hemmt. Während einer gegebenen psychischen Arbeit wird ein äufserer Reiz deshalb gar nicht oder nur in geringem Grade im stande sein, den zentralen Energieumsatz auszulösen, den er unter anderen Verhältnissen hervorrufen könnte, da die Energie von der bereits bestehenden Arbeit beansprucht wird. Ist aber auf diese Weise die zentrale Wirkung des Reizes stark herabgesetzt, so müssen auch die davon abhängigen organischen Reaktionen bedeutend vermindert werden. Eben dies zeigten die Versuche (1. Teil. S. 156 u. f.). Was während der Hypnose vorgeht, wissen wir allerdings nicht genau, indes deuten aber alle Erfahrungen darauf hin, dafs die Aufmerksamkeit des Hypnotisierten in hohem Grade geschärft, wenn auch einseitig konzentriert ist. Psychophysiologisch heifst das nur, dafs sowohl Bahnung als Hemmung entschiedener ist, mit gröfserer Stärke vorgeht. Hieraus folgt nun ganz einfach, dafs ein äufserer Reiz, der unter normalen Verhältnissen leicht zum Bewufstsein kommen würde, aufser stande ist, im Hypnotisierten, dessen Bewufstsein von einem anderen Inhalte beansprucht wird, einen zentralen Prozefs auszulösen. Was endlich die Narkose betrifft, so bedarf es wohl kaum eines näheren Nachweises, dafs die Neuronen zur Arbeit unfähig gemacht werden können, indem das Protoplasma mehr oder weniger eingreifende, wenn auch nur temporäre Veränderungen erleidet. In allen diesen Fällen, wo ein gleichzeitiges Ausbleiben des Bewufstseinszustandes und der normalen organischen Reaktionen desselben konstatiert wurde, läfst dies sich also ohne Schwierigkeit dadurch verstehen, dafs der zentrale Energieumsatz nicht zu stande gekommen ist.

Alle unsere Erfahrungen führen somit zu demselben Resultate: es ist der zentrale Energieumsatz, der sowohl für den psychischen Zustand als für die begleitenden organischen Reaktionen bestimmend ist. Die Bedeutung der organischen Reaktionen zu erörtern, darauf können wir uns hier nicht einlassen; dies wird im dritten und abschliefsenden Teile dieses Werks zum Gegenstand der Untersuchung gemacht werden. Dagegen möchte hier Anlafs sein, das in der Einleitung berührte Problem, nämlich die Frage nach dem näheren Verhältnisse der

Bewufstseinserscheinungen zu den zentralen Energieumsätzen, eingehender zu betrachten. Wir sahen, dafs es hier zwei wesentlich verschiedene Möglichkeiten gab, indem das Psychische entweder an alle Energieformen, die durch Transformation der chemischen Energie im Gehirn entstehen, oder auch an eine einzelne bestimmte Energieform allein gebunden sein kann. Indem wir unter der P-Energie diejenige Energie verstanden, an welche das Psychische gebunden ist, erhielten wir für diese beiden Annahmen die beiden folgenden Formeln:

$$C = \overbrace{V + W + \ldots + X + Y + Z}^{P} \;\ldots\ldots \text{(Gleich. 4)},$$

wodurch angedeutet wird, dafs das Psychische an sämtliche Energien gebunden ist, und

$$C = P + V + W + \ldots + X + Y + Z \;\ldots\ldots \text{(Gleich. 5)},$$

welche Formel angibt, dafs man sich das Psychische als an eine einzelne bestimmte Energieform besonderer Art, P, gebunden denkt. Die Frage ist nun die, ob wir Grund haben, irgend eine dieser beiden Auffassungen vorzuziehen, oder ob alle beide gleich gut im stande sind, das thatsächlich Vorliegende zu erklären.

Die durch Gleich. 4 ausgedrückte Annahme ist der gewöhnliche Parallelismus, die »Zwei-Seiten-Theorie«, der Duplizismus. Indem man sich denkt, dafs jede Energietransformation im Gehirn ihre psychische Seite hat, erhält man hier eine doppelte Reihe von Erscheinungen, eine physische und eine psychische, mit ununterbrochenem Kausalzusammenhang jeder einzelnen Reihe, aber ohne Verbindung der beiden Reihen untereinander. Gegen diese Auffassung sind in der letzten Zeit viele Einwürfe erhoben worden. Man hat eingesehen — was Kroman übrigens schon 1888 äufserte[1] — dafs dieselbe eigentlich ein arger Dualismus ist, und die konsequenten Anhänger der Theorie sind bei deren Verfechtung in den wildesten Spiritualismus hinübergetrieben worden[2]. Ich werde mich auf diese ver-

[1] Kroman: Logik und Psychologie. 2. Ausg. Kopenhagen 1888. Deutsche Übersetzung. Leipzig 1890.

[2] Heymans: Zur Parallelismusfrage. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. Bd. XVII. S. 62 u. f.

Digitized by Google

schiedenen Einwürfe nicht näher einlassen, da die Theorie mir unter jeglicher Form unhaltbar vorkommt. Denkt man sich nämlich, dafs die physische Kausalreihe dieselbe Realität habe wie die psychische, so wird es durchaus rätselhaft, welche Bedeutung das Psychische denn eigentlich hat. Dasselbe wird nur eine unwesentliche »Begleiterscheinung«, die man sich sehr wohl weggelassen denken könnte, ohne dafs das Dasein deswegen sein Aussehen auch nur im geringsten verändern würde. Will man diese Konsequenz nicht nehmen, sondern die Bedeutung des Psychischen im Dasein behaupten, so wird man, wie Heymans in der genannten Abhandlung, gezwungen, die physische Welt auf eine Illusion, eine Selbsttäuschung zu reduzieren. Es geht offenbar nicht an, das Dasein in zwei voneinander unabhängige Kausalreihen von gleicher Bedeutung zu spalten; das durch Gleich. 4 ausgedrückte Abhängigkeitsverhältnis zwischen dem Psychischen und den Transformationen der Energie im Zentralorgan läfst sich nicht durchführen.

Wir untersuchen nun, ob Gleich. 5 nicht möglicherweise einen mehr befriedigenden Ausdruck für die Sache geben sollte. Dieser Auffassung zufolge ist das Psychische nur an eine einzige bestimmte Art der Energie, an die *P*-Energie in engerem Sinne gebunden, die während der Arbeit des Gehirns neben vielen anderen Energieformen entsteht. Erstens leuchtet es ein, dafs sich von seiten der Physik gegen eine solche Annahme keine Einwürfe erheben lassen. Besondere Energieformen entstehen stets unter bestimmten Bedingungen; das Licht, die Elektrizität, die Röntgen-Strahlen erfordern zur Entstehung je ihre besonderen Verhältnisse. Es liegt daher nichts Sonderbares darin, dafs eine so komplizierte Maschine wie das Gehirn eine Energieform erzeugen kann, die wir einstweilen wenigstens nicht anderswoher kennen. Nur zwei Bedingungen mufs die Physik der Natur der Sache zufolge stellen: die hypothetische *P*-Energie mufs physische Eigenschaften besitzen, sich als physische Energie messen lassen, und sie mufs dem Gesetze von der Erhaltung der Energie unterworfen sein, so dafs durch Entstehung eines gewissen Quantums *P*-Energie stets ein äquivalentes Quantum andrer Energiearten verschwindet. Gegen diese Be-

dingungen scheint aber von metaphysischer Seite schwerlich etwas einzuwenden zu sein. Besitzt die *P*-Energie sowohl physische als psychische Eigenschaften, so ist diese Theorie zunächst als Monismus zu bezeichnen, das Körperliche und das Psychische werden dann nur Eigenschaften eines gemeinschaftlichen Begründenden. Übrigens sehen wir hier das Eigentümliche, dafs die Theorie, näher betrachtet, sowohl materialistisch als spiritualistisch heifsen kann. Materialistisch ist sie, insofern man annimmt, die *P*-Energie entstehe durch Transformation physischer Energie und werde, indem sie umgesetzt werde, wieder physische Energie (Wärme?). Die Theorie ist aber auch spiritualistisch, weil die *P*-Energie als spezielle, von allen anderen verschiedene Energieform, auch ihr besonderes Substrat haben mufs, das vom Äther und von anderen materiellen Substraten ebenso verschieden sein mufs wie das Psychische von der Elektrizität und von anderen Energien. Nur eins ist die Theorie nicht: sie ist kein Parallelismus. Es gibt nämlich durchaus keine Notwendigkeit, dafs jede Energietransformation im Gehirn eine Entladung von *P*-Energie bewirken sollte; im Gegenteil mufs man annehmen, dafs dies erst dann stattfindet, wenn das psychodynamische Potenzial eines Zentrums hinlänglich grofs geworden ist. Dies ist aber augenscheinlich kein Mangel der Theorie; eben der durchgängige Parallelismus erwies sich oben als nicht durchführbar. Überdies ist es eine Thatsache, dafs viele Hirnarbeit unbewufst vorgeht; über diese Thatsache kommt der Parallelismus nur dadurch hinweg, dafs er sich unbewufste psychische Erscheinungen denkt, was dem Denken doch stets eine Schwierigkeit darbietet, da wir das Psychische nur aus dem Bewufstsein kennen. Die Annahme, dafs das Psychische nur an eine bestimmte Energieform gebunden ist, scheint daher weder von seiten der Physik noch von seiten der Metaphysik Einsprüche antreffen zu können, da jeder wohlbegründete metaphysische Standpunkt sich dieselbe zu nutze führen kann.

Es ist natürlich nicht ohne Bedeutung, dafs die Theorie der *P*-Energie mehr oder weniger alle metaphysischen Standpunkte befriedigt; möglicherweise ist dies ein Anzeichen, dafs sie gerade das Berechtigte

jedes dieser Standpunkte in sich aufgenommen hat. Viel wesentlicher erscheint es mir jedoch, dafs diese spezielle Formulierung des Monismus — denn monistisch mufs die Theorie doch wohl zunächst genannt werden — den Vorzug vor dem üblichen monistischen Parallelismus besitzt, dafs sie die Realität des Physischen sowohl als die des Psychischen in vollem Mafse anerkennt. Sie ist nicht gezwungen, entweder das Physische auf eine Illusion oder das Psychische auf eine unwesentliche Rückseite der Veränderungen im Gehirn zu reduzieren. Indem das Psychische als eine selbständige, den anderen bekannten Energien nebengeordnete Energieform aufgefafst wird, ist hiermit die Realität dieser anderen zugegeben. Dadurch wird aber die wesentliche Bedeutung des Psychischen nicht aufgehoben; im Gegenteil sieht man, dafs die *P*-Energie für die gesamte Arbeit des Gehirns von entscheidender Wichtigkeit ist. Ebenso wie die während der Thätigkeit der Nerven entwickelte Elektrizität zweifelsohne von wesentlicher Bedeutung ist, damit die Nerven überhaupt so arbeiten können, wie sie dies faktisch thun, ebenso ist die Entwickelung der *P*-Energie im Gehirn auch als ein für die Arbeit des Gehirns notwendiges Moment zu betrachten. Die *P*-Energie wird gerade das, was einen beseelten Organismus von einem unbeseelten unterscheidet. Denken wir uns die *P*-Energie aus dem Dasein entfernt, so erhalten wir nicht mehr ein »mit Bewufstsein« arbeitendes Gehirn, wir erhalten dann ein bewufstloses, schlummerndes Gehirn, und das macht doch ganz unzweifelhaft einen Unterschied. Da die *P*-Energie als physische Energie selbst zu den physischen Kausalreihen gehört, ist es unmittelbar einleuchtend, dafs dieses Glied sich nicht entfernt denken läfst, ohne dafs das Dasein als Totalität sich veränderte. Dem monistischen Parallelismus ist es dagegen ganz gleichgültig, ob das Psychische existiert oder nicht, weil der physische Kausalverlauf ein abgeschlossenes Ganzes ist, unabhängig davon, ob zugleich eine psychische Kausalreihe existiert. Durch die Theorie der *P*-Energie als besonderer Energieform gewinnen wir also, dafs die Bedeutung des Psychischen im Dasein verständlich wird.

Bisher erblickte man die wesentlichste Bedeutung

des Parallelismus in dessen Brauchbarkeit als Arbeitshypothese: derselbe gibt Anleitung, wo wir die Ursachen gegebener psychischer Erscheinungen zu suchen haben. Es bedarf wohl keines Nachweises, daſs hieran durch die spezielle Formulierung, welche der Monismus hier erhalten hat, nicht das geringste geändert wird. Da die *P*-Energie physische Energie ist, müssen für ihre Entstehung überall physische Ursachen gesucht werden. Aber auch an diesem Punkte bezeichnet die Theorie der *P*-Energie einen bedeutenden Fortschritt im Vergleich mit dem gewöhnlichen Parallelismus, weil sie auch quantitative Anweisungen gibt. Da das Psychische als Eigenschaft einer bestimmten Energieform aufgefaſst wird, muſs es in quantitativer Beziehung durch die Menge der unter gegebenen Umständen entwickelten *P*-Energie bestimmt sein. An dieser Gröſse haben wir also ein Maſs für die psychischen Erscheinungen, und soweit es thunlich ist, die entwickelten Mengen der *P*-Energie oder damit proportionale Gröſsen zu messen, so weit wird es auch möglich sein, die Psychologie zu einer exakten, mit Quantitäten arbeitenden, mithin berechnenden Naturwissenschaft zu machen. Freilich ist im vorliegenden Werke nur ein sehr kleiner Schritt in dieser Richtung gemacht, ich hoffe indes, daſs das hierdurch Gewonnene sich als wertvoll genug erweisen wird, um andre Forscher anzuspornen, auf dem eingeschlagenen Wege weiterzugehen.

ANHANG.

Abhängigkeit der Pupillenweite von der Stärke des Lichtes. Wir sahen (S. 185—186), dafs die Stärke der Empfindung bestimmt wird durch die Gröfse des zentralen Energieumsatzes, an welchen die Empfindung gebunden ist. Die Unterscheidungsgesetze für die verschiedenen Sinnesgebiete geben folglich an, welches Verhältnis zwischen zwei Reizungen eines Sinnesorgans bestehen mufs, damit die hierdurch ausgelösten Energieumsätze einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied erzeugen. In den Unterscheidungsgesetzen müssen deshalb Ausdrücke für alle Faktoren enthalten sein, welche Einflufs auf die Gröfse der durch simultane oder successive Reizungen desselben Sinnesorganes ausgelösten zentralen Energieumsätze erhalten. Beim Lichtsinne sind also nicht nur die photochemischen Wirkungen auf die Netzhaut zu berücksichtigen, durch die der Potenzialunterschied zwischen Peripherie und Zentrum bestimmt wird, sondern auch zugleich der gegenseitige Einflufs der gleichzeitig gereizten Stellen der Netzhaut aufeinander (der Kontrast) und der Einflufs des Stoffwechsels auf diese verschiedenen Vorgänge. Erst wenn man alle diese Faktoren bei der Berechnung mitnimmt, kann man einen genauen Ausdruck dafür erhalten, wie die Unterschiedsempfindlichkeit mit der objektiven Lichtstärke variiert. (Vgl. Gleich. 28 u. 29.) Es bleibt aber noch ein Umstand zurück, der bei der Berechnung nicht berücksichtigt wurde, obschon er beweislich einen sehr wesentlichen Einflufs auf die ins Auge eindringende Lichtmenge hat. Es ist hier von der Weite der Pupille die Rede.

Digitized by Google

Bei den S. 35 angeführten Messungen, auf die die Formel für die Unterschiedsempfindlichkeit ursprünglich begründet wurde, variierte die Beleuchtung der rotierenden Scheiben von 1841600 bis 15. Indem aber die objektive Beleuchtung von der gröfsten bis zur kleinsten der angegebenen Gröfsen abnimmt, erweitert sich die Pupille, so dafs ihr Areal bei der schwächsten Beleuchtung wenigstens zehnmal so grofs ist als bei der stärksten. Es gelangt mithin zehnmal so viel Licht ins Auge, als der Fall sein würde, wenn die Weite der Pupille unveränderlich wäre. Bei der objektiven Beleuchtung 15 empfängt die Netzhaut thatsächlich ebensoviel Licht, wie sie aufnehmen würde, wenn die Lichtstärke 150 wäre und die Pupille dieselbe Weite hätte, wie bei der stärksten Beleuchtung. Man begeht also einen sehr wesentlichen Fehler, wenn man mit den objektiven gemessenen Beleuchtungen rechnet, statt mit den Lichtmengen, welche die Netzhaut faktisch treffen, und welche verhältnismäfsig um so gröfser werden, je schwächer die Beleuchtung R wird, indem die Pupillenweite mit abnehmenden Werten des R allmählich zunimmt.

Lange war es mir ein Rätsel, weshalb in dem Unterscheidungsgesetze kein spezieller Ausdruck für die Weite der Pupille vorkam. Dafs dies nicht von Mefsfehlern herrührte, war einleuchtend, denn wenn die Pupillenweite bei den schwächsten Beleuchtungen etwa zehnmal so grofs wird wie bei den stärksten, so mufs das einen Einflufs auf die gemessenen Werte der kritischen Periode erhalten, der die möglichen Mefsfehler weit übersteigt. Es gab hier also ein noch ungelöstes Problem. Erst als die betreffenden Abschnitte des Buches im Drucke erschienen waren, fiel mir der natürliche und sehr einfache Ausweg bei, meine früheren Messungen nur mit dem Unterschied zu wiederholen, dafs ich die Scheiben durch eine cirkuläre, 3,6 mm im Durchschnitt haltende, dicht vor dem Auge angebrachte Öffnung betrachtete[1].

---

[1] In der That war der angewandte Apparat weit komplizierter, wir brauchen uns hier aber nicht auf die technischen Details einzulassen; der wesentliche Unterschied zwischen den neuen und den älteren Messungen besteht nur in der künstlichen Pupille.

Mittels der Anwendung einer derartigen künstlichen Pupille werden die Veränderungen der wirklichen Pupille eliminiert; nur das von der Scheibe durch die kleine Öffnung dringende Licht wird die Netzhaut treffen, und es kann nicht mehr Licht ins Auge gelangen, selbst wenn die Weite der natürlichen Pupille vielmal gröfser ist. Wir wollen nun sehen, zu welchen Ergebnissen wir unter diesen Verhältnissen kommen.

Es leuchtet erstens ein, dafs wir alle früheren Messungen der kritischen Periode nicht zu wiederholen brauchen. Gleich. 28 läfst sich nämlich, wie wir (S. 64) sahen, schreiben: $t = \tau \cdot B = K_1$. In der Gröfse B ist jetzt nur das Verhältnis R/r und r/R zwischen den beiden Reizen enthalten, diese Brüche können aber durch die Variationen der Pupillenweite keine Veränderung erleiden, weil beide Gröfsen, R und r, dann mit derselben Zahl multipliziert werden; ihr Verhältnis bleibt folglich unverändert. Es ist also nur die Gröfse τ, die von dem absoluten Werte des R abhängig ist, und die sich daher mit der Pupillenweite verändern kann. Wir brauchen also nur diejenigen Messungen, welche zu Werten für τ führen, mit künstlicher Pupille auszuführen. Das Ergebnis einer solchen Reihe von Messungen ist in der Tab. 35 wiedergegeben. In der obersten Reihe sind die benutzten Werte des R angeführt. Diese sind selbstverständlich durch dieselbe Einheit wie früher ausgedrückt, nur kommen hier nicht ganz dieselben Werte des R zur Anwendung. In der nächsten Reihe finden sich des Vergleiches wegen die den verschiedenen Werten des R entsprechenden Gröfsen des τ, aus Gleich. 13 berechnet; dies sind also die Zeitdauern, die für die natürliche, veränderliche Pupille gefunden werden. Die folgende Reihe enthält die für die künstliche Pupille gefundenen Werte von τ; diese sind τ_p bezeichnet. Vergleicht man dieselben mit den korrespondierenden τ, so sieht man, dafs τ_p durchweg gröfser ist, und zwar um so mehr, je kleiner R wird. Eben dies stand zu erwarten; denn wegen der künstlichen Pupille nimmt die ins Auge eintretende Lichtmenge ab, und je schwächer die Reizung der Netzhaut wird, um so gröfser wird die durch τ und τ_p ausgedrückte kritische Periode. Ferner sieht man, dafs τ_p ganz demselben Gesetze unterworfen

ist wie τ; für die Variationen des τ fanden wir früher den Ausdruck:

$$\tau = k - k_1 \cdot \log. R \ .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 12)},$$

oder nach Einsetzen der Konstanten:

$$\tau = 47{,}6 - 6{,}035 \log. R \ .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 13)}.$$

Für τ_p finden wir auf dieselbe Weise:

$$\tau_p = m - m_1 \cdot \log. R \ .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 61)}.$$

Hier ist $m = 55{,}2$ und $m_1 = 7{,}54$, also:

$$\tau_p = 55{,}2 - 7{,}54 \log. R \ .\ .\ .\ .\ \text{(Gleich. 62)}.$$

Setzt man in Gleich. 62 nach und nach die verschiedenen Werte von R ein, so lassen sich die entsprechenden Werte τ_p berechnen; diese sind in der als »ber. τ_p« bezeichneten Reihe angeführt.

Tab. 35.

$R =$	1 356 030	313 600	70 200	18 018	3 873	1 107	215	37	12
τ ber.	10,6	14,4	18,3	21,9	25,9	29,2	33,5	38,2	41,2
τ_p	[12,5]	14,0	17,9	21,8	27,1	35,9	38,4	42,7	47,1
τ_p ber.	8,9	13,7	18,6	23,1	28,0	32,2	37,6	43,4	47,1

Hierdurch ist uns also die Lösung des oben erwähnten Rätsels gelungen. Wir sehen, daſs die Pupillenweite wirklich im Unterscheidungsgesetze vorkommt, daſs sie aber nur auf die Konstanten, nicht auf die mathematische Form des Gesetzes Einfluſs erhält. Bei Anwendung der festen Pupille, welche die Schwankungen der Pupillenweite ausschlieſst, finden wir für τ_p denselben mathematischen Ausdruck wie für τ, nur die Konstanten erhalten andere Werte. Die ganze, durch Anwendung der festen Pupille erzeugte Veränderung ist durch den Unterschied zwischen Gleich. 13 und Gleich. 62 gegeben. Also:

Das Unterscheidungsgesetz für Lichtempfindungen verändert seine mathematische Form nicht, wenn man die Schwankungen der

Pupille durch Anwendung einer künstlichen Pupille von konstanter Gröfse eliminiert; dieser Umstand erhält nur auf einzelne der in der Formel vorkommenden Konstanten Einflufs.

Verhält es sich nun damit richtig, dafs der Unterschied zwischen den Konstanten der Gleich. 13 und denen der Gleich. 62 nur von dem Ersatz der natürlichen variabeln Pupille durch eine künstliche konstante herrührt, so müssen wir im stande sein, aus diesen beiden Gleichungen die Gröfse der natürlichen Pupille für jeden aufgegebenen Wert des R zu berechnen. Eine allgemeine Formel hierfür können wir mittels folgender Betrachtung ableiten.

Nehmen wir an, dafs wir durch die künstliche Pupille eine schwach beleuchtete Scheibe erblicken, deren Rotationsgeschwindigkeit gerade gleich der kritischen Periode ist, für welche wir also an dem gefundenen τ_p ein Mafs besitzen. Denken wir uns nun die künstliche Pupille entfernt, so fällt also mehr Licht ins Auge, da die wirkliche Pupille bei der schwachen Beleuchtung gröfseres Areal hat als die künstliche. Die Entfernung der künstlichen Pupille erhält also ganz dieselbe Wirkung, als ob wir, unter Beibehaltung der konstanten Pupillenweite, die objektive Beleuchtung verstärkt hätten. Bei Zunahme der Beleuchtung nimmt die kritische Periode aber ab; statt des früheren τ_p erhalten wir mithin einen neuen Wert $\tau < \tau_p$. Es sei nun R_p die Gröfse, welche die Beleuchtung haben müfste, um bei konstanter Gröfse der Pupille den Wert τ zu geben. Diese Gröfse R_p können wir leicht berechnen, wenn wir in Gleich. 61 τ statt τ_p setzen. Man hat dann:

$$\tau = m - m_1 \cdot \log. R_p \quad \ldots \quad \text{(Gleich. 63).}$$

Da nun R_p diejenige Gröfse ist, welche man der Beleuchtung hätte geben müssen, um bei konstanter Pupille dieselbe kritische Periode zu finden, die man für die bewegliche Pupille bei der Beleuchtung R fand, mufs folglich der Bruch $v = R_p/R$ gerade angeben, wieviel Mal mehr Licht wegen der Entfernung der künstlichen Pupille ins Auge gedrungen ist. Oder mit anderen Worten: v gibt an, wieviel Mal das Areal der natür-

lichen Pupille bei der gegebenen Beleuchtung R gröfser ist als das Areal der künstlichen Pupille. Eben dieses Verhältnis wünschten wir zu erfahren. Wir können nun leicht allein mit Hilfe der Konstanten der Gleichungen 12 und 61 einen Ausdruck für v finden. Wir haben nämlich:

$\tau_p = m - m_1 \cdot \log. R$ . . . . (Gleich. 61) und

$\tau = m - m_1 \cdot \log. R_p$ . . . . (Gleich. 63), woraus folgt:

$$\tau_p - \tau = m_1 \cdot \log. \frac{R_p}{R}.$$

Ferner erhält man aus Gleich. 12 und Gleich. 61:

$\tau_p - \tau = m - k - (m_1 - k_1) \log. R$, also ist

$m_1 \log. \frac{R_p}{R} = m - k - (m_1 - k_1) \log. R$, woraus folgt:

$$\log. v = \log. \frac{R_p}{R} = \frac{m-k}{m_1} - \frac{m_1 - k_1}{m_1} \log. R.$$

Setzt man also $\frac{m-k}{m_1} = \log. M$ und $\frac{m_1 - k_1}{m_1} = n$, so wird

$$\log. v = \log. \frac{M}{R^n}, \text{ also: } v = \frac{M}{R^n}.$$

Da v das Verhältnis zwischen dem Areal der natürlichen Pupille bei der Beleuchtung R und dem konstanten Areale der künstlichen Pupille ist, so mufs $\sqrt{v}$ das Verhältnis der Durchmesser dieser Areale sein, und multipliziert man $\sqrt{v}$ mit dem Durchmesser p der künstlichen Pupille, so hat man als Ausdruck für den Durchmesser der natürlichen Pupille bei der Beleuchtung R:

$$D = p\sqrt{v} = p\sqrt{\frac{M}{R^n}} \quad \ldots . \text{ Gleich. 64).}$$

In den oben angegebenen Ausdrücken für M und n kommen nur die vier Konstanten aus den Gleichungen 13 und 62 vor; setzt man diese ein, so findet man: $M = 10{,}19$ und $n = 0{,}2$. Ferner haben wir bei der gegebenen Versuchsanordnung $p = 3{,}6$ mm. Folglich hat man als Ausdruck für die Pupillenweite der betreffenden Versuchsperson bei der Beleuchtung R:

$$v = \frac{10{,}19}{R^{0,2}} \text{ oder } D = 3{,}6\sqrt{\frac{10{,}19}{R^{0,2}}}.$$

Digitized by Google

In der Tabelle 36 ist eine Übersicht über die hieraus berechneten Werte von v, $\sqrt{v}$ und D bei verschiedenen Gröfsen des R gegeben. Die in der Kolonne D angeführten Zahlen, die den Durchmesser der Pupille in mm angeben, stimmen sehr gut mit den Ergebnissen direkter Messung überein; nur sind die berechneten Werte sicherlich viel genauer, als die durch Messung gefundenen Zahlen. Als fernerer Beweis für die Richtigkeit der Berechnung mag folgendes angeführt werden. Aus Tab. 36 geht hervor, dafs bei $R = 1\,356\,030$ $v = 0{,}605$ ist; das Areal der natürlichen Pupille beträgt also nur wenig mehr als die Hälfte des Areals der künstlichen Pupille. Folglich mufs das gefundene τ_p ein wenig zu grofs werden, was auch aus Tab. 35 hervorgeht; deshalb ist dieser Wert bei der Berechnung von m und m_1 nicht mitgenommen.

Tab. 36.

R	v	$\sqrt{v}$	D
1 356 030	0,605	0,78	2,81
313 600	0,811	0,90	3,24
70 200	1,093	1,04	3,74
18 018	1,435	1,20	4,32
3 873	1,952	1,40	5,04
1 107	2,510	1,59	5,72
215	3,480	1,87	6,73
37	4,947	2,22	7,99
12	6,214	2,49	8,96

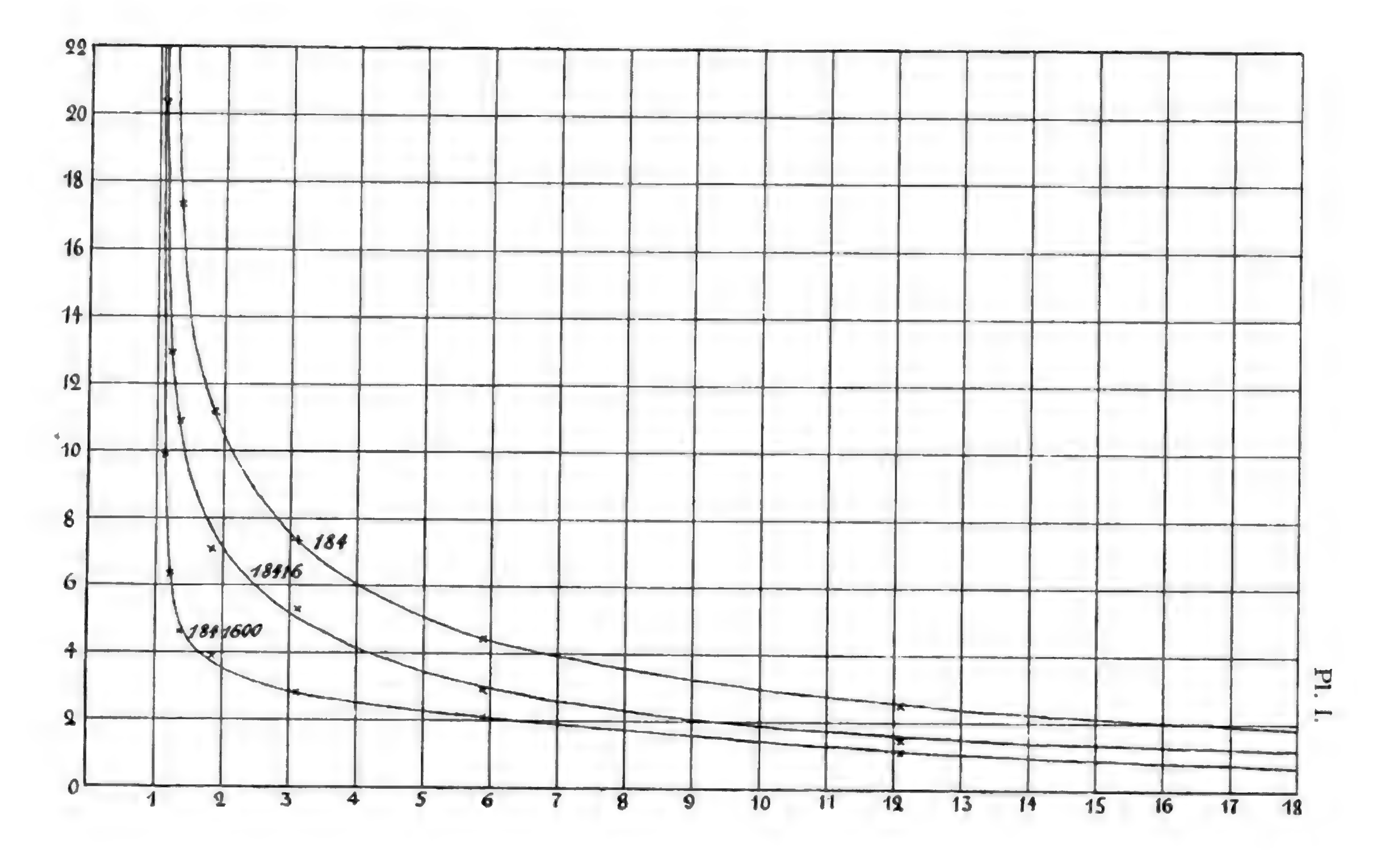
Es scheint also wohl keinen Zweifel erleiden zu können, dafs das Resultat, zu dem wir hier gelangten, richtig ist, und wir können daher feststellen:

Bei konstanter Akkommodation des Auges ist die Pupillenweite einer gewissen Potenz der Helligkeit des betrachteten Objekts umgekehrt proportional.

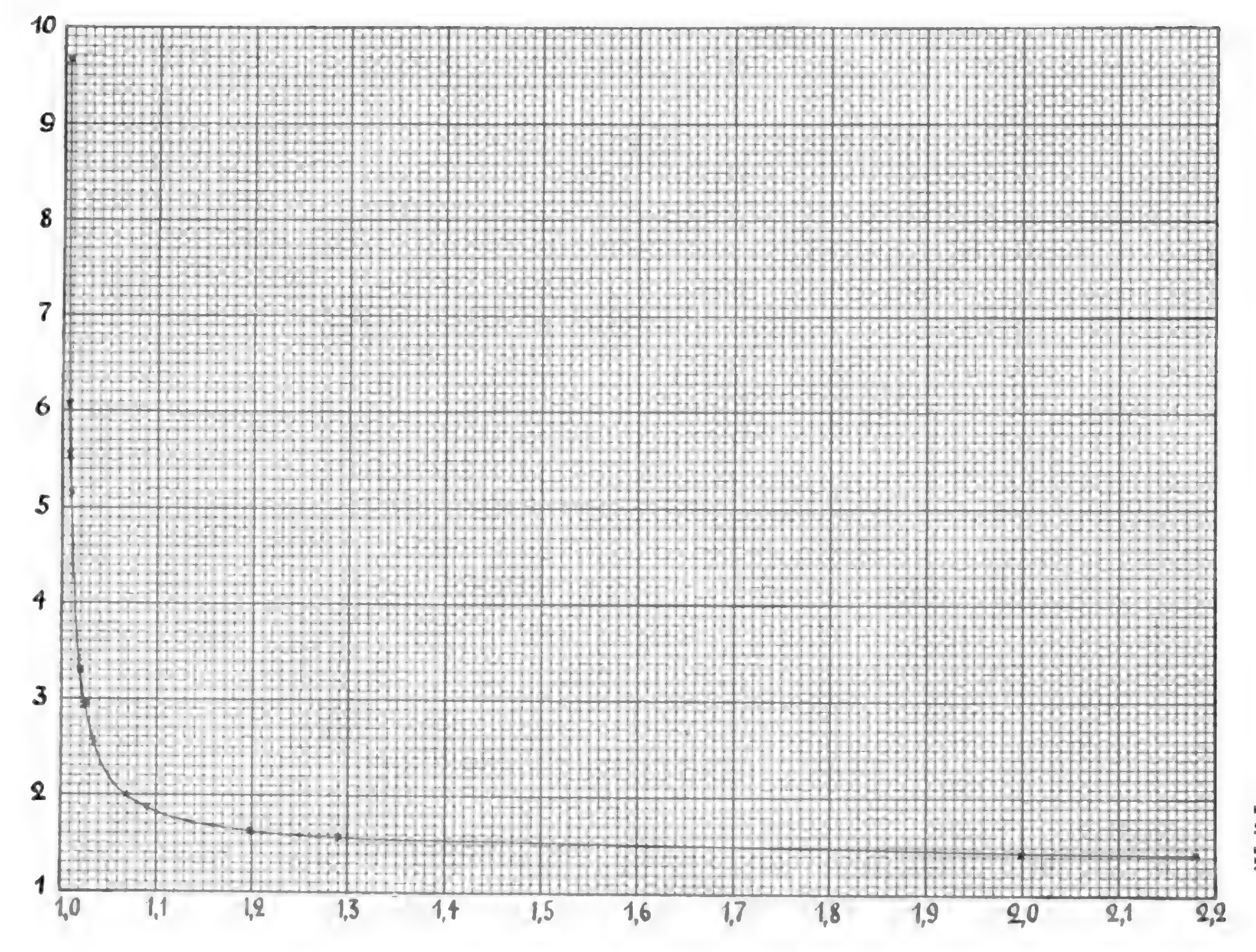
Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Digitized by Google

Pl. I.

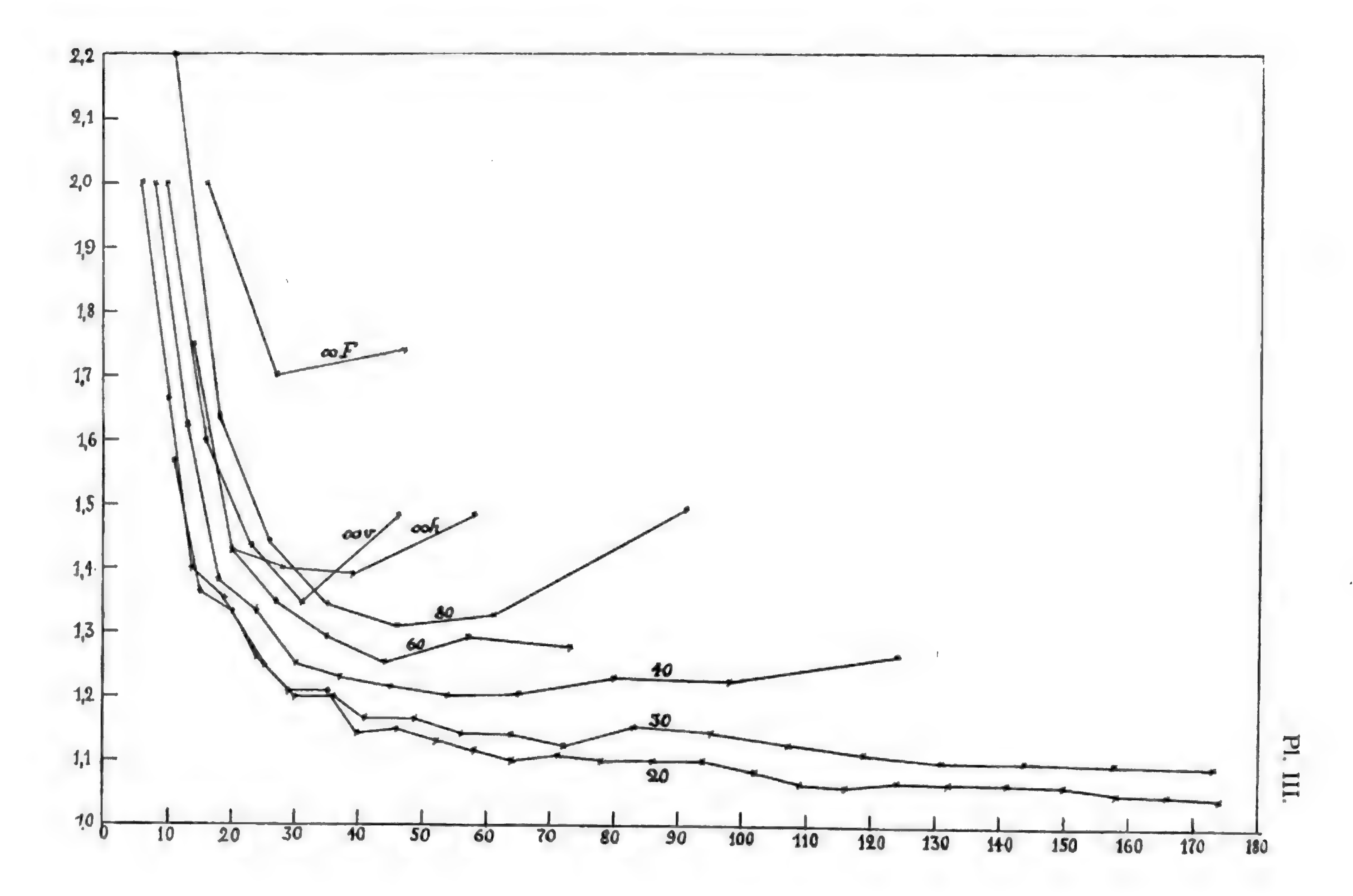


184
184/16
184/1600
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22



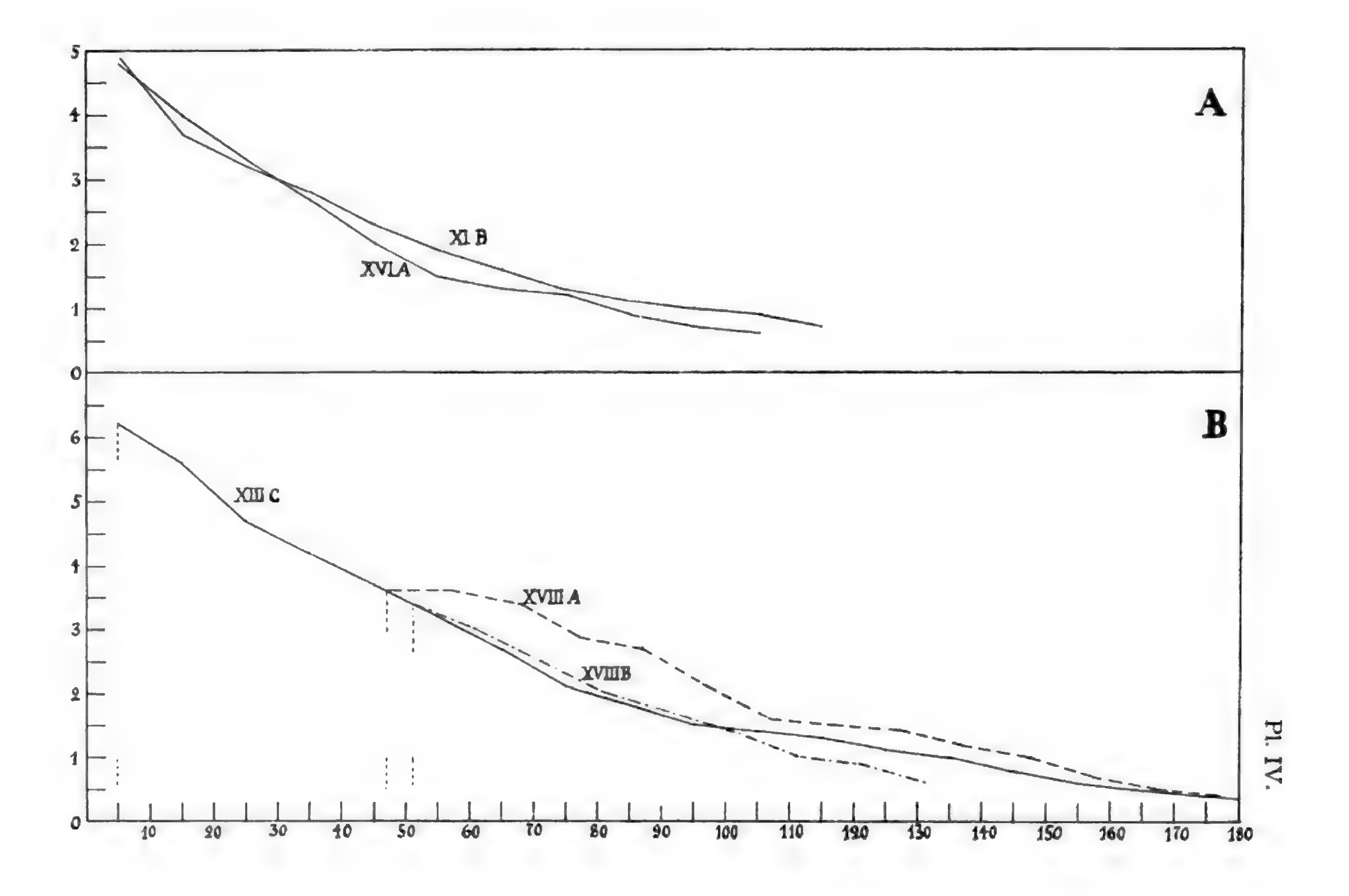
Digitized by Google

Pl. III.

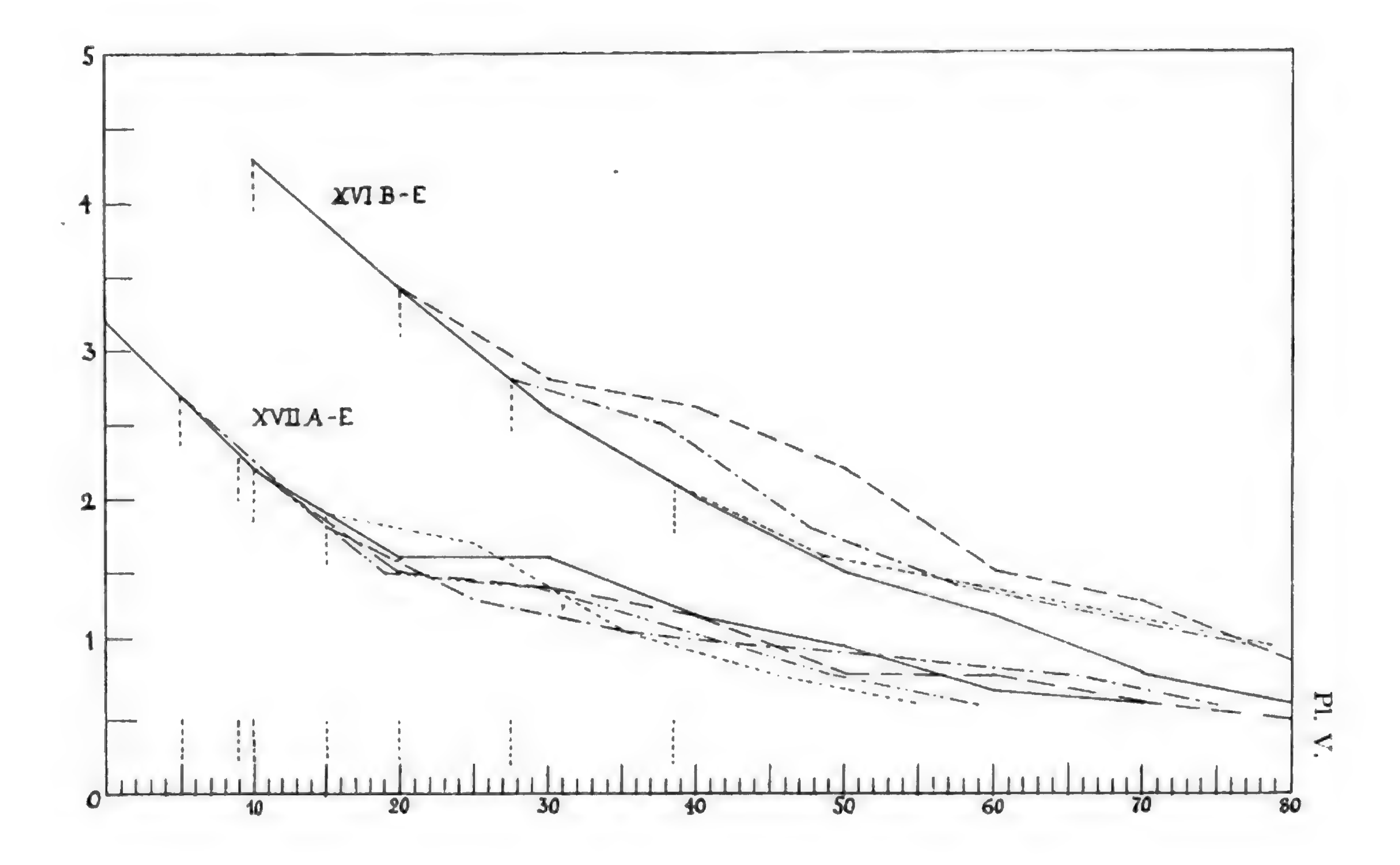


2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
∞F
∞v
∞h
80
60
40
30
20

Digitized by Google



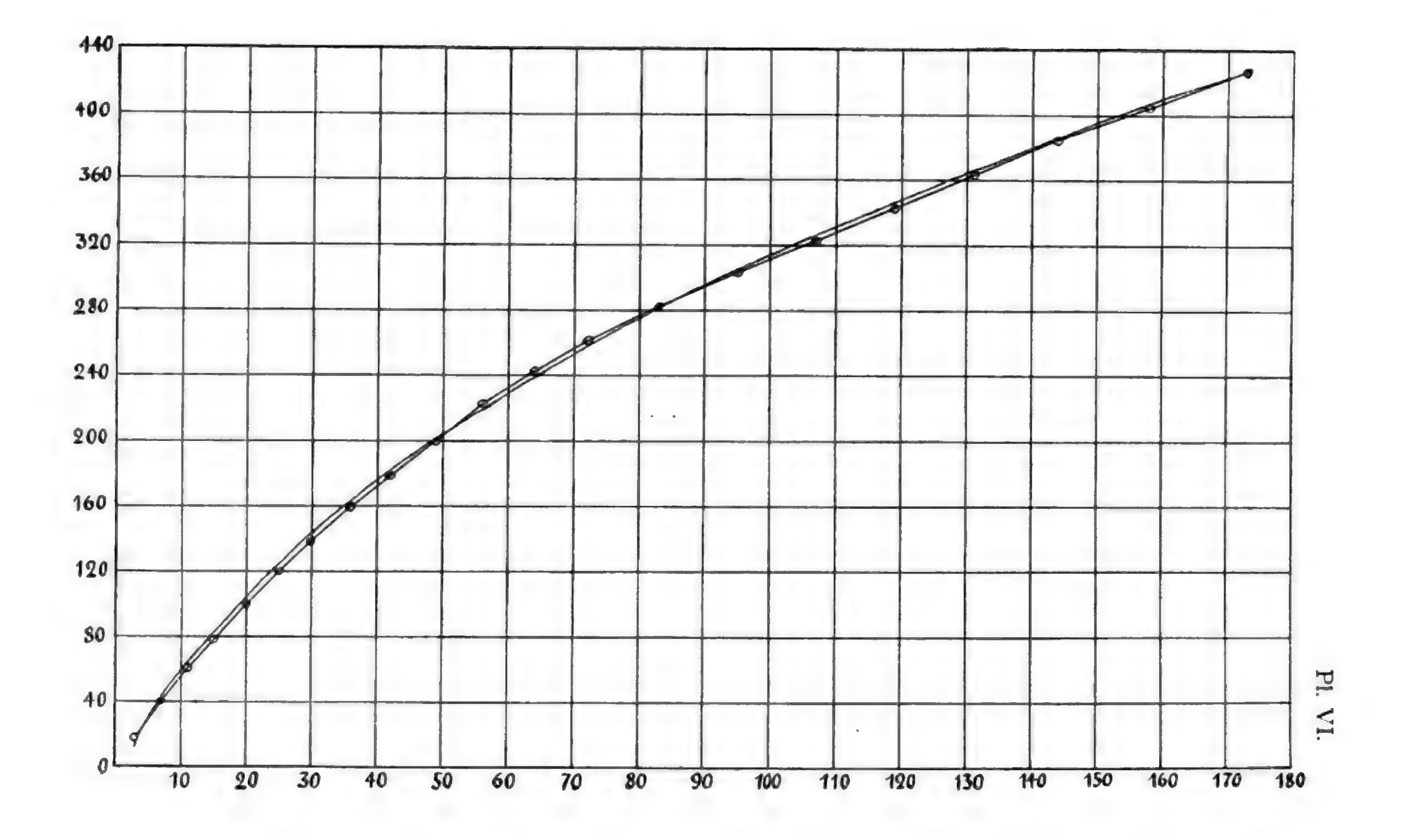
Digitized by Google



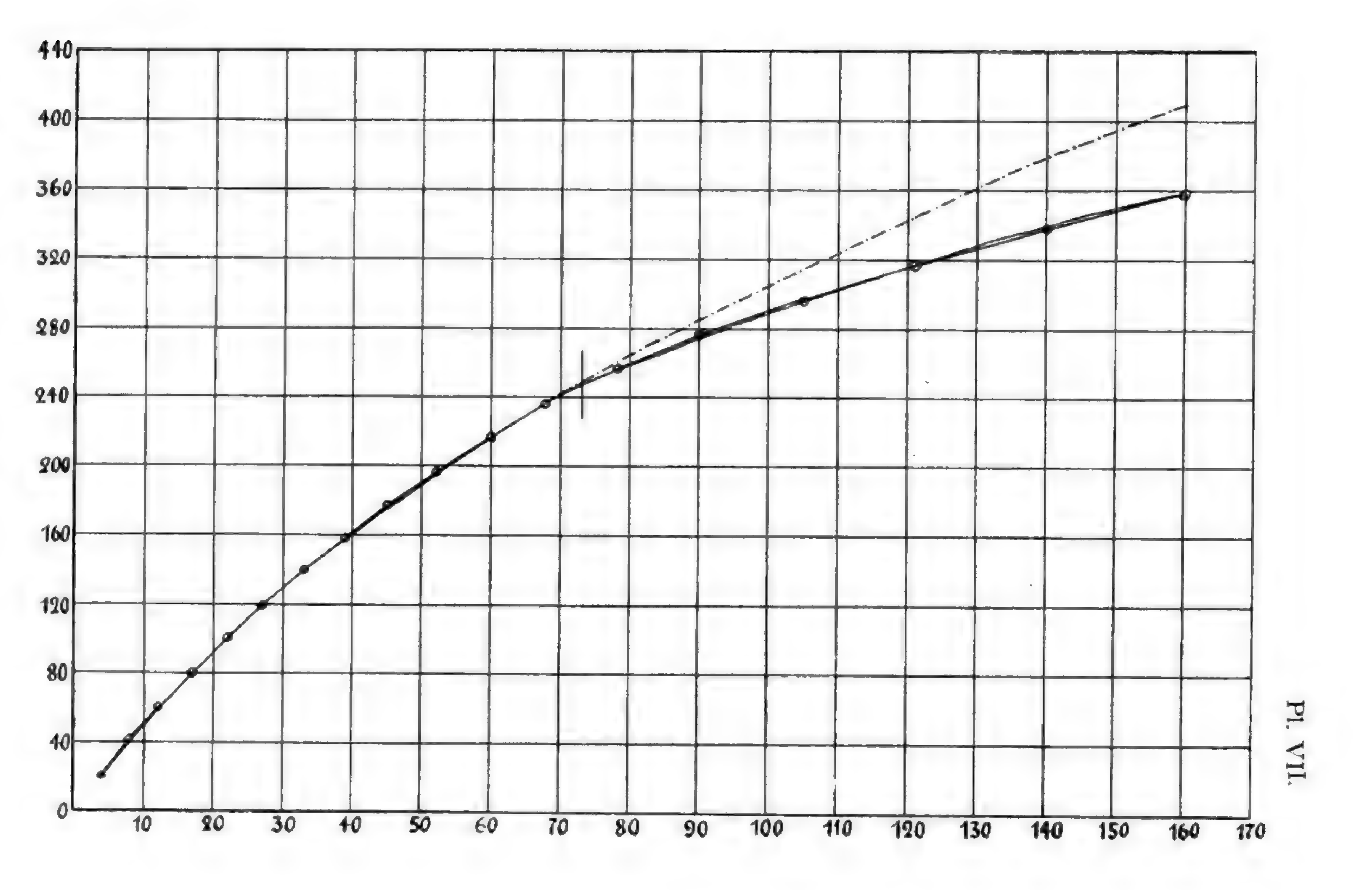
Digitized by Google

Digitized by Google

Pl. VI.



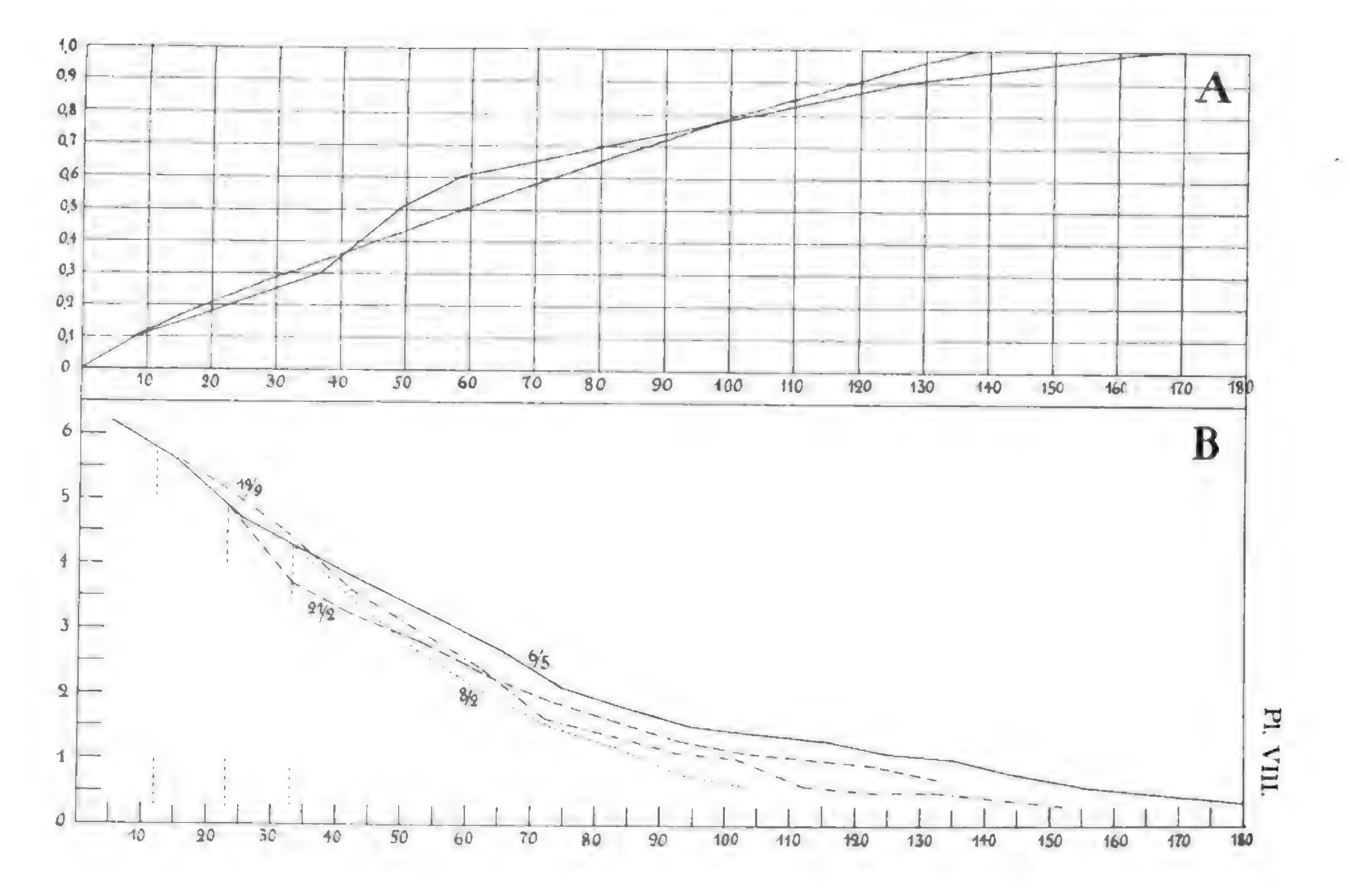
Digitized by Google

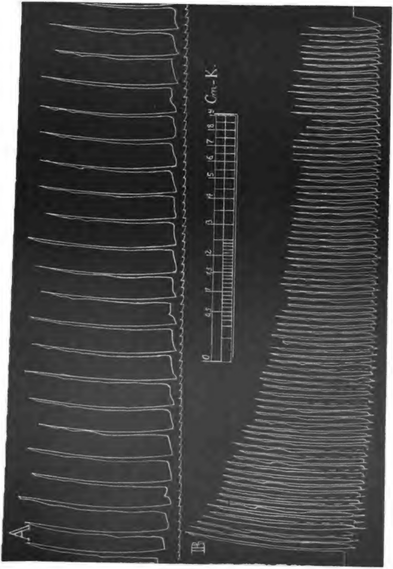

440
400
360
320
280
240
200
160
120
80
40
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170

Pl. VII.

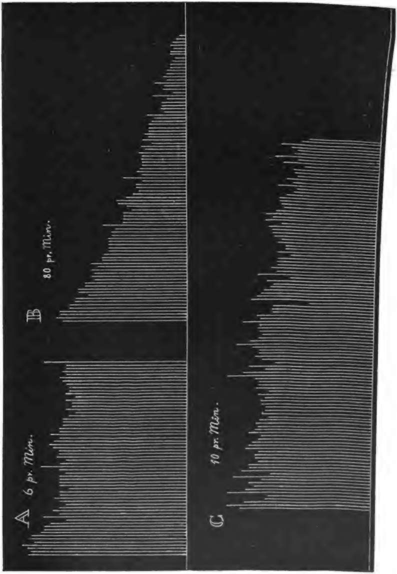
Digitized by Google

Pl. VIII.

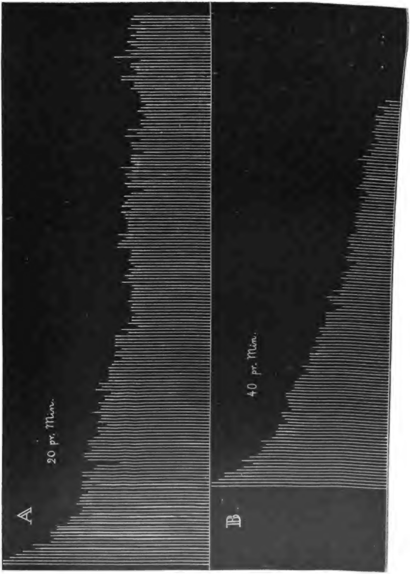

A
B
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
6
5
4
3
2
1
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
19/9
21/2
6/5
8/2



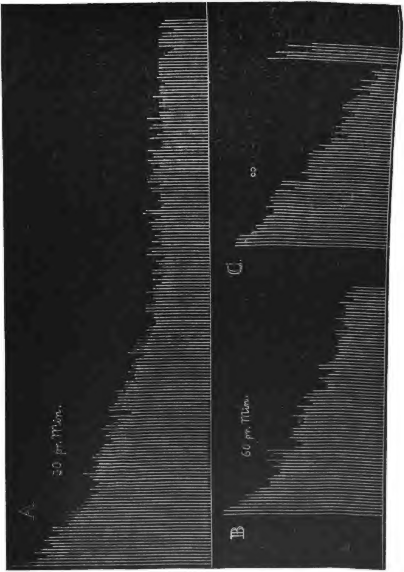
Digitized by Google



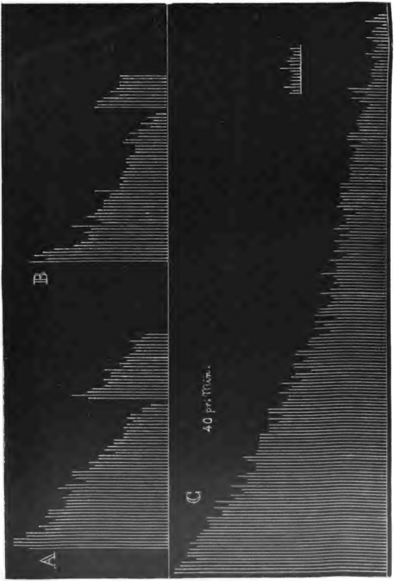
Digitized by Google



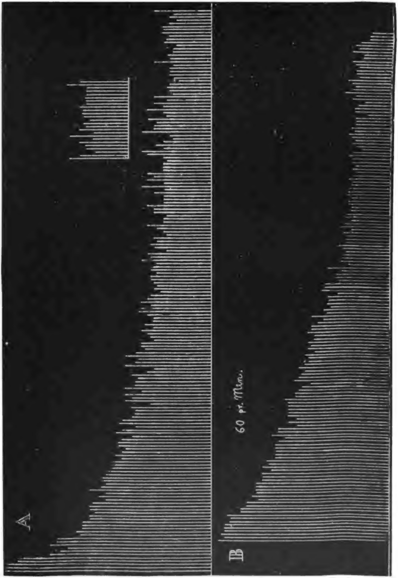
Digitized by Google



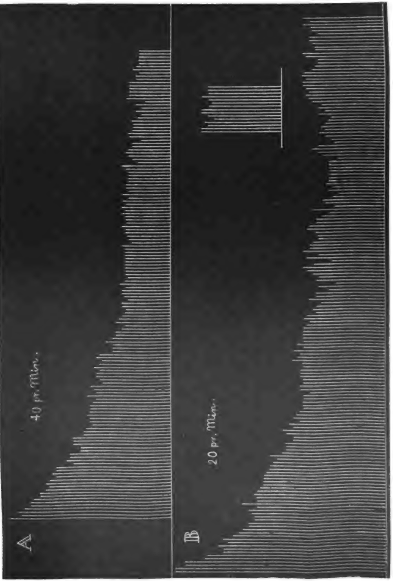
Digitized by Google



Digitized by Google



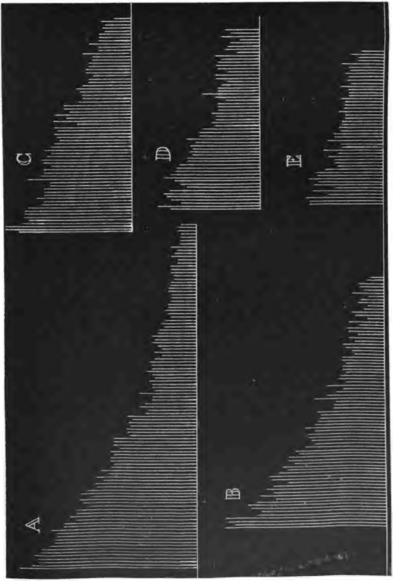
Digitized by Google



Digitized by Google

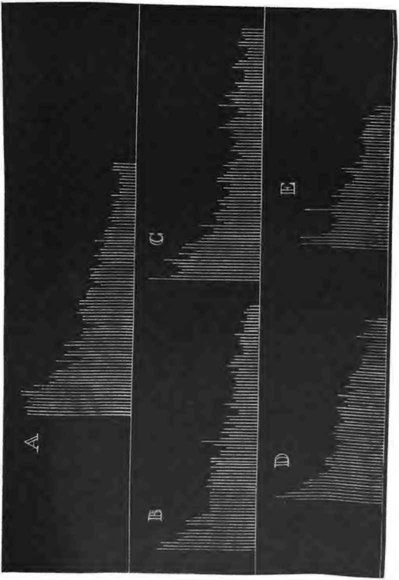
Digitized by Google

Pl. XVI.



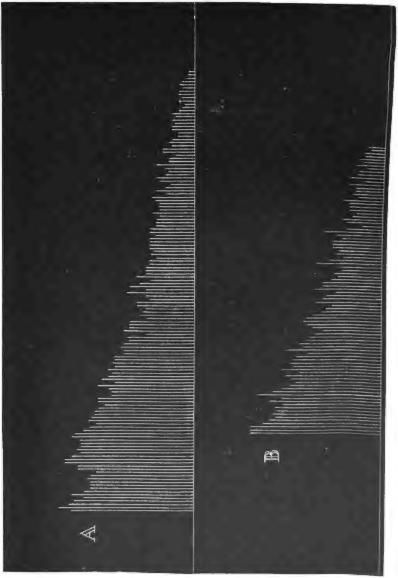
Digitized by Google

Digitized by Google



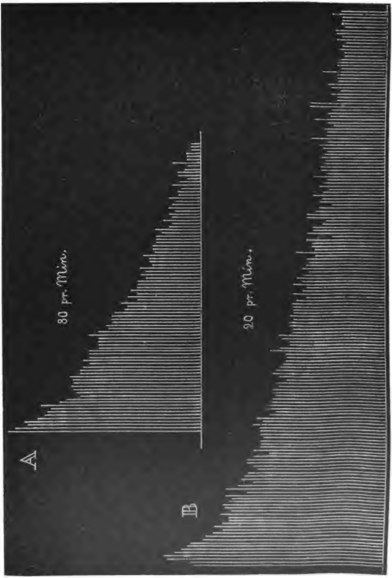
Digitized by Google

Digitized by Google

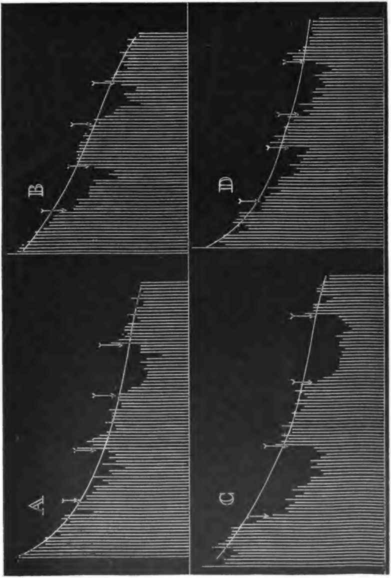


Digitized by Google

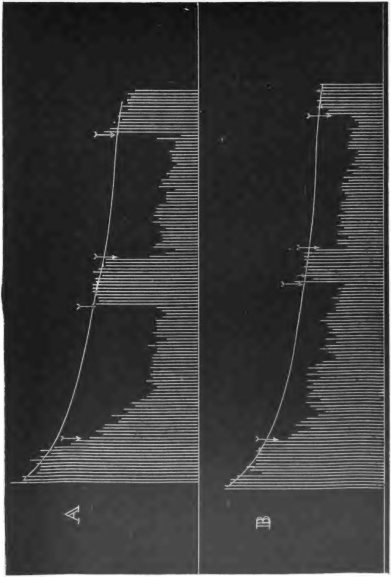
Digitized by Google



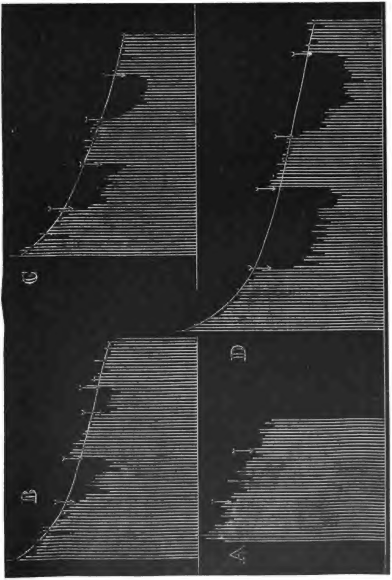
Digitized by Google



Digitized by Google

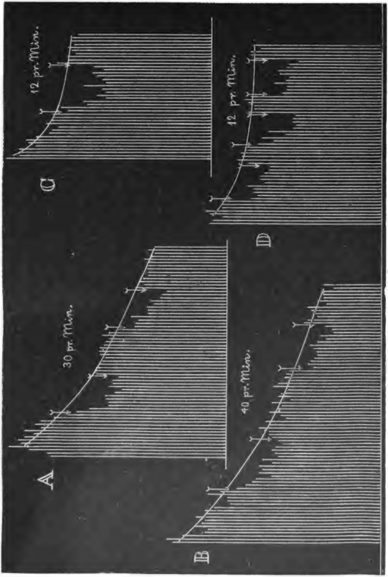


Digitized by Google

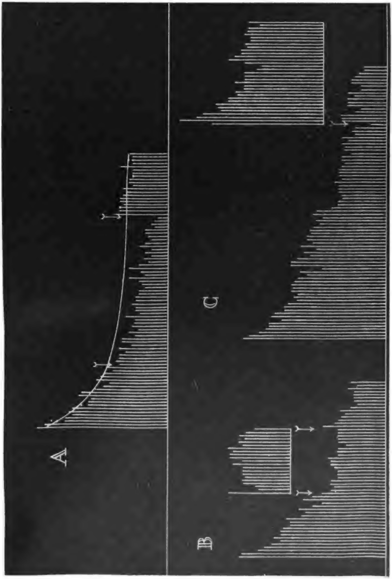


Digitized by Google

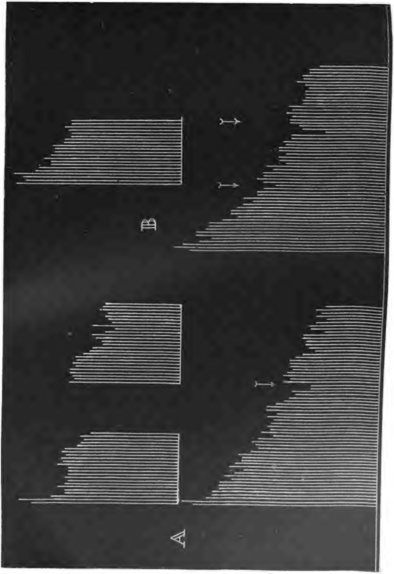
Pl. XXIV.



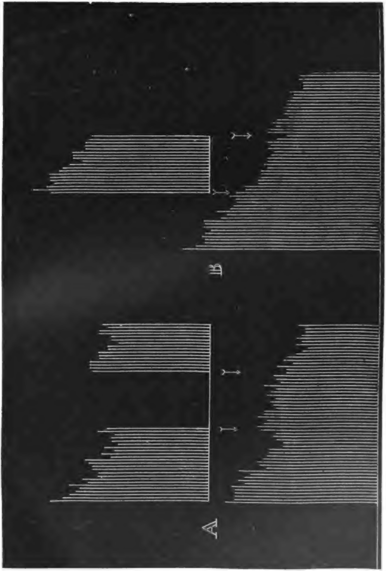
Digitized by Google



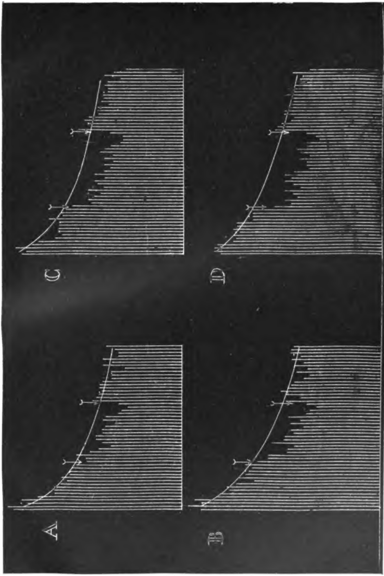
Digitized by Google



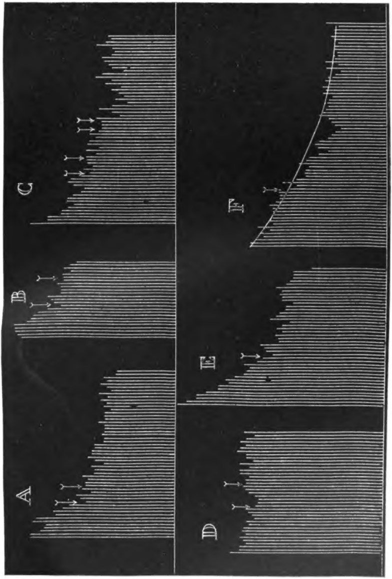
Digitized by Google



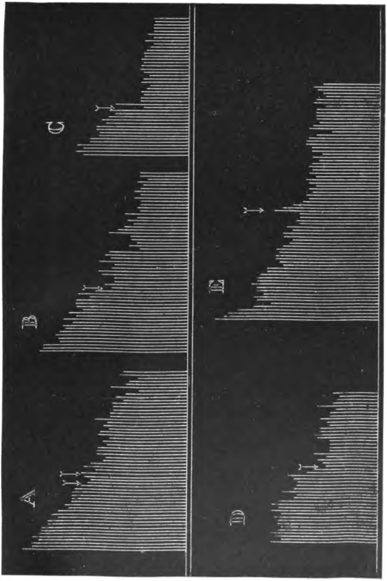
Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google



Digitized by Google

89094623089

B89094623089A

Digitized by Google